



Avanzado en prevención y protección contra incendios

El valor de aprender

Escuela de Administración Pública
de la Región de Murcia



CURSO AVANZADO DE PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS



PLAN DE FORMACIÓN

**Escuela de Administración
Pública
de la Región de Murcia**

1) TEORÍA DE LA EXTINCIÓN DEL FUEGO

2) EL AGUA COMO AGENTE EXTINTOR

2.1) Absorción de Calor por el Agua

2.2) El Agua contra el Fuego

2.3) Eliminación del Combustible

2.4) Modos de Actuación del Agua Sobre un Fuego

2.4.1) Extinción por Enfriamiento Superficial

2.4.2) Extinción por Acción Sofocadora o Bloqueadora del Oxígeno

2.4.3) Extinción por Emulsificación

2.4.4) Extinción por Dilución

2.4.5) El Agua Pulverizada

2.5) El Agua Contra Combustibles Líquidos Pesados

2.6) El Agua Contra Combustibles Líquidos Livianos

2.7) Limitaciones del Agua como Agente Extintor

2.7.1) Limitaciones Impuesta por la Conductividad Eléctrica

2.7.2) La Tensión Superficial del Agua y los Agentes Humectantes

a) Propiedades físicas y químicas

b) Propiedades extintoras

c) Usos y limitaciones

2.7.3) Viscosidad y Aditivos Espesantes

2.7.4) Limitaciones Impuestas por la Reactividad con ciertos materiales

2.7.5) Limitaciones Impuestas por la Temperatura de Congelamiento

2.8) Incendios de Gases

1) TEORÍA DE LA EXTINCIÓN DEL FUEGO

Básicamente existen cuatro métodos de extinción de un incendio:

- a- Separar físicamente la sustancia combustible de la llama.
- b- Reducir la cantidad de oxígeno.
- c- Reducir la temperatura del combustible, o de la llama.
- d- Aplicar productos químicos que modifiquen la química de la combustión.

Cualquier técnica concreta de extinción puede incluir uno de estos mecanismos o, más frecuentemente, varios de ellos simultáneamente. Por ejemplo, cuando se aplica agua a un incendio de un combustible sólido que se quema en el aire, se aplican simultáneamente varios de estos procedimientos: el sólido se enfría al contacto con el agua, haciendo que disminuya su velocidad de pirólisis o desgasificación. Se enfría la llama gaseosa, causando una reducción de la realimentación del calor al combustible sólido y una correspondiente reducción en la velocidad de pirólisis endotérmica. Se genera vapor, que en ciertas condiciones y en fuegos en recintos cerrados, puede evitar que el oxígeno llegue al fuego. Y el agua, en forma de niebla, puede impedir la radiación de calor.

2) EL AGUA COMO AGENTE EXTINTOR

2.1) Absorción de Calor por el Agua

Consideremos cuatro sustancias distintas: agua, arena, hierro y mercurio. Supongamos que dispone de un kilogramo de cada una de ellas y que todas tienen una temperatura de por ejemplo 20°C. Tratemos de suministrar a cada una de esas masas de un kilogramo la misma cantidad de calor, por ejemplo, 10 kcal. Esas 10 kcal pueden ser provistas por la combustión total de aproximadamente un gramo de nafta o algo más de un gramo de carbón. Tengamos la amabilidad de admitir que en los cuatro casos todo el calor de combustión pasa del combustible a las sustancias que queremos calentar con 10 kcal y que no hay pérdida ni disipación de calor. Veamos qué ocurre con cada una de las sustancias:

1 kg H ₂ O a 20°C	+	10 kcal →	30°C (diferencia 10°C)
1 kg Arena a 20°C	+	10 kcal →	70°C (diferencia 50°C)
1 kg Fe a 20°C	+	10 kcal →	113°C (diferencia 93°C)
1 kg Hg a 20°C	+	10 kcal →	320°C (diferencia 300°C)

El experimento a demostrado que: *el agua tiene elevada capacidad calórica, porque puede absorber comparativamente mucho calor sin gran aumento de su temperatura.*

El agua absorbe calorías de dos modos:

Si partimos de un kilogramo de agua a 20°C y entregáramos 80 kcal (en lugar de 10) el agua llegaría a 100°C, o sea a su punto de *ebullición* cuando la presión es normal. Si proseguimos entregando calor al agua que está a 100°C, ésta continúa absorbiéndolo sin *aumentar* su temperatura, hasta que el kilogramo de agua se agota por evaporación. Durante el tiempo que dura la evaporación, un kilogramo de agua puede absorber unas 540 kcal sin aumentar su temperatura.

1ro.: Etapa de calentamiento del agua

1 kg de agua a 20°C + 80 kcal = Agua a 100 °C líquida 80 kcal

2da.: Cambio de estado (líquido-vapor)

1 kg de agua líquida a 100 °C + 540 kcal = vapor a 100°C 540 kcal

Total de calorías absorbidas 620 kcal

Estas 620 kcal representa la capacidad refrigerante de un kilogramo de agua cuando se evapora totalmente partiendo de la temperatura ambiente.

Es evidente que si bien el agua en estado líquido exhibe una elevada capacidad calórica y, en consecuencia, un gran poder refrigerante, sólo en el cambio de estado (líquido-vapor) es cuando el agua pone de manifiesto su extraordinaria capacidad de enfriamiento.

2.2) El Agua contra el Fuego

Se ha dicho que la forma ideal de extinguir un fuego con agua es emplear exactamente la cantidad de agua que al evaporarse absorba suficiente cantidad de calorías como para enfriar la sustancia que se quema a una temperatura inferior a la de ignición. Se ha dicho, también, que un fuego no puede extinguirse a menos que la acción refrigerante del agua (es decir, su velocidad de absorción de calorías) sea mayor que la velocidad a que el fuego genera calor.

La NFPA publicó en 1961 una célebre refutación que se basaba en el absurdo, veamos unos ejemplos

TABLA Nro. 1

FUEGO TIPICO	Kg consumidos/min m ²	Calorías lib/min m ²
Fuego en estructura, valor promedio	1,95	8.100
Fuego en estructura, valor máximo	7,8	32.400
Fuego en un horno a carbón	4,4	32.400
Fuego en tanque abierto (comb. líq.)	4,9	38.000

Si admitimos que la extinción con agua depende del suministro de ese agente a una velocidad apropiada para absorber todo el calor, el cálculo sobre la base del calor específico del agua y su calor de vaporización nos conduce a los valores de la siguiente tabla.

TABLA Nro. 2

Liberación total de calor en kcal por minuto y por metro cuadrado	Agua en litros/minuto/m ²	
	Cuando el agua se calienta desde 15 °C hasta 100 °C	Cuando se parte de 15°C y se produce vaporización total
Fuego estructural (promedio) 8.100 cal	97,5	13
Fuego estructural (máximo) 32.400 cal	390	52
Fuego en horno a carbón 32.400 cal	390	52
Fuego en tanque abierto 38.000 cal	455	60,5

A golpe de vista resultan valores de consumo de agua excesivas y fuera de la realidad, tal como la experiencia lo comprueba. Según semejante estimación hecha sobre la base de la teoría

de la "absorción total del calor", habría que admitir que el control de un fuego producido en un edificio de 20 x 30 metros, con un potencial combustible en el valor máximo, exigiría una descarga de agua de aproximadamente 30.000 litros por minuto, siempre y cuando no se derrame ni se perdiera nada de agua y toda su masa se convirtiera en vapor.

Se sabe perfectamente que un fuego semejante se controla con cantidades de agua muy por debajo de esos valores. La conclusión es que la teoría de la absorción total del calor es incompleta, por que, por si sola no puede dar una explicación a este absurdo.

2.3) Eliminación del Combustible

Nadie pone en duda que cuando una sustancia se quema hasta su total agotamiento el fuego cesa por la eliminación del combustible, pero tenemos serias dudas de que eso constituya una técnica de extinción del fuego.

La mayor satisfacción del hombre que lucha en la primera línea es controlar el fuego salvando el combustible, y cuanto mayor sea el combustible en potencia tanto mayor el éxito de su acción.

Permítasenos plantear una pregunta que a primera vista parece algo absurda: *¿Qué es lo que se quema cuando algo se está quemando?*

Evidentemente, si se trata de un fuego de gases, lo que se quema son los gases. Si se trata de un fuego de líquidos, no tendremos dificultad en darnos cuenta que lo que se quema son los gases provenientes del líquido. Sabemos que ciertos líquidos son inflamables a temperatura ambiente porque a las temperaturas normales suministran gases combustibles. Sabemos también que ciertos líquidos deben calentarse a temperaturas superiores a la ambiental para que comiencen a proveer gases combustibles.

En los combustibles sólidos comunes (por lo menos en la gran mayoría de los casos) lo que se quema son los gases provenientes del sólido. Quizá una manera más exacta de expresarse fuera decir que los sólidos que se queman con llama evidente lo hacen mediante un mecanismo de descomposición y vaporización del sólido; los gases combustibles así generados son los que, bajo ciertas condiciones, soportan la combustión del sólido. No es correcto decir que siempre la combustión de un sólido está acompañada por un mecanismo de descomposición y vaporización, pero en la mayoría de los sólidos comunes que exhiben llamas durante su combustión, ese mecanismo de vaporización está presente.

Consideremos algún combustible familiar: por ejemplo, papel o madera. Tenga presente que estos materiales son mal conductor del calor. En consecuencia, cuando se inicia la combustión en un punto, el calor no se difunde rápidamente a toda la masa por conducción. El resultado es que la temperatura aumenta notablemente en la zona del material próxima al punto en que la combustión se ha iniciado. El alto calor localizado por la mala conductibilidad térmica produce elevadas temperaturas que favorecen la descomposición y vaporización del sólido, y esos gases se quemarán a medida que se mezclen con el oxígeno necesario a través de una zona más o menos amplia, que es la zona de dilución del oxígeno, en los gases.

Si el calor de combustión no pudiera llegar continuamente hasta el sólido éste dejaría de suministrar gases combustibles. En otras palabras, si el sólido no gasifica no hay (en la mayoría de los casos comunes) ningún combustible para quemar, porque el combustible es, en rigor, el gas y no el sólido. Esto significa que cualquier factor que interfiera con la transferencia de calor hacia el combustible (sólido o líquido) que aún no se ha vaporizado podrá interrumpir el proceso de combustión. El enfriamiento del combustible sólido o líquido hasta el punto en que deja de suministrar gases combustibles significa *prácticamente* la supresión del combustible, y ese

efecto puede lograrse con el agua sin absorber el calor total liberado en el fuego. Basta impedir que llegue al sólido (o al líquido) el calor requerido para su vaporización o gasificación y esto es algo que en muchos casos puede lograrse.

2.4) Modos de Actuación del Agua Sobre un Fuego

2.4.1) Extinción por Enfriamiento Superficial

Si la superficie del material se enfría por debajo de la temperatura a la cual suministra suficiente vapor como para soportar la combustión, el fuego se extinguirá. Los líquidos con puntos de inflamación inferiores a la temperatura del agua no son afectados por el agua y el suministro de vapor continúa en cantidades apropiadas como para soportar la combustión. Por lo tanto, esos materiales no pueden ser extinguidos por el simple enfriamiento superficial.

2.4.2) Extinción por Acción Sofocadora o Bloqueadora del Oxígeno

Cuando el agua se expande por vaporización su volumen aumenta aproximadamente 1.700 veces. Si el calor del fuego genera suficiente vapor de agua, el oxígeno queda desplazado o excluido y el fuego se extingue por acción sofocadora o bloqueadora. La cantidad de vapor de agua generado depende de la magnitud del fuego y el grado de efecto sofocador o bloqueador está determinado por este factor. En aquellos casos en que el oxígeno se libera del mismo material que se calienta (por ejemplo en un fuego de piroxilina), la acción sofocadora o bloqueadora del oxígeno no colabora en la extinción. Es importante advertir que cuando el agua ejerce acción bloqueadora puede extinguir un fuego por la eliminación de la cara OXIGENO del tetraedro, sin absorción total del calor.

2.4.3) Extinción por Emulsificación

Cuando dos líquidos no miscibles, como por ejemplo agua y un aceite combustible, se agitan y se mezclan, un líquido puede dispersarse en el otro en forma de pequeñas gotas, formando una emulsión. Esto ocurre muchas veces cuando el agua (preferentemente en forma de "spray") choca contra la superficie de ciertos líquidos combustibles con los cuales el agua no se mezcla. Estas emulsiones, en general, no son combustibles. Por lo tanto, el efecto es producir una condición de incombustibilidad temporaria en la superficie del material. Se considera que en ciertos líquidos muy livianos la emulsificación es extremadamente breve, y que se cumple únicamente mientras dura la aplicación del agua (preferentemente en forma de "spray"). Con líquidos de cierta viscosidad, el efecto emulsificante puede persistir durante un cierto tiempo y puede llegarse a impedir la reignición cuando ha cesado la aplicación del agua. Esto equivale a una eliminación del COMBUSTIBLE.

2.4.4) Extinción por Dilución

Los materiales inflamables que son solubles en el agua pueden, en algunos casos, extinguirse por dilución. El porcentaje de dilución necesario para lograr la extinción puede variar ampliamente y el tiempo necesario para lograr el control puede también ser muy variable, según la magnitud de dilución requerida. Este es también prácticamente un ejemplo de eliminación del combustible. Observando las distintas formas de actuación del agua se observa que la misma actúa físicamente sobre el calor, el oxígeno y el combustible.

2.4.5) El Agua Pulverizada

La cantidad de agua necesaria para extinguir un fuego depende del calor desprendido por el mismo. La velocidad de extinción depende de la rapidez en la aplicación del agua, del caudal y del tipo de agua que se aplique. Lo más efectivo es descargar agua de manera que se absorba el máximo de calor. El agua absorbe el máximo de calor cuando se transforma en vapor y esto se consigue con mayor facilidad si se aplica pulverizada en vez de un chorro compacto.

La aplicación de agua pulverizada se basa en el principio de que la velocidad de transmisión de calor es proporcional a la superficie expuesta de un líquido. Para un volumen dado de agua la superficie aumenta drásticamente si el agua se convierte en gotas.

2.5) El Agua Contra Combustibles Líquidos Pesados

Supongamos que estamos quemando un combustible pesado cuyo punto de ebullición sea algo superior a los 100°C. Hay que admitir que cualquier cantidad de agua en forma líquida que llegue hasta la superficie de este combustible líquido pesado alcanzará la temperatura de ebullición del agua y se transformará en vapor, ejerciendo de esta forma su máxima acción refrigerante. Pero adviértase que el agua debe atravesar antes por la zona de la llama y que una cantidad sustancial de agua se transformará en vapor antes de llegar a la superficie del combustible. Sin embargo, admitamos que una cierta cantidad de agua se calienta en el trayecto y llega hasta la superficie del combustible en la condición líquida, transformándose en vapor al entrar en contacto con aquel. Lo ideal es que el agua se caliente hasta casi su punto de ebullición y luego, sobre la superficie del combustible, se transforme en vapor. Para cada kilogramo de agua que en el trayecto a través de la llama se haya calentado hasta poco menos de 100°C, podemos absorber en la superficie del combustible unas 540 kcal.

Tomemos como ejemplo un fuego de combustibles líquidos en tanque abierto, el calor total liberado es de aproximadamente 38.000 kcal/m²min (Tabla Nro. 1). Recordemos que para mantener ese régimen de liberación de calor el combustible se quema a razón de aproximadamente 4,9 kg por minuto y por metro cuadrado de área superficial. Nos preguntamos ahora: ¿Qué cantidad de calor hay que suministrar al líquido en combustión para mantener ese régimen de vaporización?

La cantidad de calor necesario para producir la vaporización se expresa mediante el calor latente de vaporización. El calor latente de vaporización para un combustible pesado común es del orden de 55 kcal/kg de combustible. Como estamos quemando nuestro combustible (ver Tabla Nro. 1) a un ritmo de 4,9 kg por minuto y por metro cuadrado de área superficial, necesitamos mantener ese régimen de vaporización. Por lo tanto, el producto de 55 x 4,9 = 269,5 kcal expresa el calor que hay que suministrar por minuto y por metro cuadrado de área superficial para

mantener la vaporización; o sea, para redondear valores, 270 kcal por minuto y por metro cuadrado. Recordemos (tabla Nro. 1) que en nuestro fuego se están liberando unas 38.000 kcal por minuto y por metro cuadrado. Resulta, por lo tanto, que el fuego libera aproximadamente 140 veces más calor que el requerido para mantener la vaporización. Si pudiéramos impedir que esas 270 kcal por minuto y por metro cuadrado llegue hasta la superficie del combustible, interceptándola de alguna manera eficaz, el fuego deberá extinguirse, porque habrá cesado de proveer gases combustibles.

Vale la pena considerar brevemente qué cantidades de agua serían necesarias para producir la absorción total del calor liberado y cual serían las cantidades de agua estrictamente necesarias para interceptar esa cantidad de calor exigido por la vaporización. Si un kilogramo de agua que está a 100°C absorbe, al cambiar de estado, unas 540 kcal, para absorber 270 kcal por minuto y por metro cuadrado de área superficial bastará que llegue hasta el combustible de nuestro ejemplo medio litro de agua por minuto y por metro cuadrado. En cambio para absorber el calor total liberado en nuestro fuego, necesitábamos unos 60 litros de agua por minuto y por metro cuadrado. Estos valores están demostrados que si fuera posible llegar hasta la superficie del combustible con cierta cantidad de agua líquida, podría controlarse el fuego con cantidades inferiores a las exigidas por la teoría de la absorción total del calor. Téngase bien en cuenta, sin embargo, que no toda el agua dirigida hacia el fuego alcanza la superficie del combustible y que, por lo tanto, el agua prácticamente consumida debe ser necesariamente superior a las cantidades resultantes del cálculo. En la práctica la condición es la siguiente: Se requiere más agua que la exigida por el cálculo sobre la base del calor latente de vaporización, pero menos que la exigida por el cálculo sobre la base de la absorción total del calor. Además, téngase muy en cuenta que estamos hablando de un combustible líquido pesado, con puntos de ebullición e inflamación superiores a los 100°C.

2.6) El Agua Contra Combustibles Líquidos Livianos

Consideremos ahora un combustible con punto de inflamación ambiental o subambiental, o sea un líquido que a temperatura ambiente es capaz de suministrar vapores de combustible en cantidad suficiente como para mantener la combustión. La situación es la siguiente: El agua que llegue hasta la superficie del líquido podrá enfriarlo, en el mejor de los casos, hasta la temperatura que el agua tiene al entrar en contacto con él. Pero como el líquido que está considerando es un combustible liviano que sigue proveyendo gases combustibles a temperatura ambiente, la acción del agua será incapaz de impedir la vaporización del combustible. En un caso semejante la acción del agua se cumple en la zona de la llama y, sin duda, el agua que se evapora cumple allí una acción refrigerante. Pero el exceso de agua que llega hasta la superficie del combustible líquido no ejerce acción extintora de importancia porque es incapaz de impedir la vaporización de un combustible líquido del tipo liviano. En un caso tal como el que estamos discutiendo, hay que admitir que las cantidades de agua requeridas para la extinción deben ser mayores y que el mecanismo de extinción sólo se logre por medio de la absorción total del calor, o sea, prácticamente, por la eliminación de las fuentes de ignición.

Consideremos un fuego típico de nafta alimentado por una pérdida de un caño de ese combustible liviano. Admitamos que la cañería pierde nafta a razón de aproximadamente 38 litros por minuto y que el producto se inflama en el piso. Eso es lo que se suele llamar en la literatura inglesa un "spill fire". El área del fuego será al principio pequeño, pero muy pronto se extenderá hasta tener una magnitud suficiente como para permitir que la nafta se consuma al ritmo a que se está derramando. De acuerdo a los valores que ya hemos establecido, la velocidad de combustión

debe ser del orden de 4,9 kilogramos de combustible por minuto y por metro cuadrado de área superficial en combustión. Esa pérdida de 38 litros por minuto debe producir una área de combustión equivalente a poco más de siete metros cuadrados, y es admisible que se produzca un fuego en un área de 1,2 x 6 metros de lado, si el terreno tiene una disposición apropiada para que el combustible forme un fuego de esas medidas. En nuestro ejemplo el fuego alcanzará esa magnitud y se mantendrá así sin expandirse. Mientras prosiga el suministro de combustible al ritmo, el área se mantendrá. No se extenderá debido a que el combustible se quema a medida que se derrama, ni se reducirá debido a que esa es el área apropiada para el acceso de aire, la transferencia de calor y el régimen de vaporización acorde con el ritmo de reposición de combustible. Si se aplica agua a ese fuego de nafta, ocurrirá lo siguiente: Algo de agua se vaporizará en la zona de la llama y absorberá calor, y como consecuencia de este parcial enfriamiento de la llama disminuirá algo la transferencia de calor hacia la superficie del combustible derramado. Además, el agua que llegue hasta la superficie del combustible puede enfriarlo en cierta medida disminuyendo paralelamente la velocidad de suministro de vapores, aunque sin llegar a suprimir el suministro de éstos. Ambos efectos combinados harán que disminuya la velocidad a que el fuego consume el combustible, si esa velocidad se expresa por metro cuadrado y por minuto, y como el caño sigue perdiendo nafta al mismo régimen, el área del fuego se extenderá, si el terreno lo permite, y la ampliación del área estará acorde con la disminución de la velocidad de combustión expresada por metro cuadrado y por minuto. Si la topografía del terreno es tal que no pueda extenderse, el resultado será un aumento del nivel del líquido combustible dentro del ámbito que lo contiene, hasta que las paredes sean incapaces de contenerlo y el líquido desborde el recinto. Adviértase que un fuego de combustibles livianos semejante al descrito, el efecto de la descarga de agua será extender un fuego derramado o desbordar un tanque con líquido combustible.

Conclusión: "Salvo en circunstancias excepcionales y fuera de lo común, el agua no podrá extinguir un fuego de un producto del petróleo con punto de inflamación bajo, tal como la nafta."

2.7) Limitaciones del Agua como Agente Extintor

Las propiedades del agua que limitan su uso como agente extintor son las siguientes:

- a- Tensión superficial
- b- Reactividad con ciertos materiales
- c- Conductividad eléctrica
- d- Temperatura de congelamiento

2.7.1) Limitaciones Impuesta por la Conductividad Eléctrica

El tema que ahora tratamos es delicado y también lo es acotar valores numéricos, porque esos valores se refieren nada menos a las condiciones en que un ser humano puede actuar con seguridad en la extinción, por medio del agua, de fuegos que involucran instalaciones eléctricas bajo carga.

Debido a que el agua en su estado natural contiene impurezas que la hacen conductora de la electricidad, la aplicación de agua a fuegos que involucren equipos eléctricos bajo carga no es

generalmente una buena práctica, especialmente cuando se trate de equipos eléctricos con altos voltajes. En rigor, no es el voltaje, sino la cantidad de corriente o el amperaje, lo que determina la magnitud del peligro.

Existe un serio peligro cuando el operador se encuentra sobre un chorro de agua o sobre una superficie húmeda y entra en contacto con conductores eléctricos bajo carga. En tales casos el cuerpo es parte de un circuito eléctrico y la carga proveniente de la instalación se disipa a través del cuerpo hacia tierra con mayor facilidad que cuando el operador se encuentra sobre una superficie seca y no conductora.

Constituye una buena práctica cortar la corriente eléctrica que va hacia el equipo que se está quemando, para reducir el daño, pero esa práctica está contraindicada cuando la falta de luz o de energía perjudique la operación. En el caso de línea de alto voltaje hay que advertir que aun cuando se corte la corriente puede quedar un potencial peligroso durante un cierto tiempo. Si en el circuito existen capacitores, o hay algún cable que por circunstancias de cualquier índole tenga capacidad (efecto de condensadores), la corriente puede tardar algún tiempo en disiparse.

Cuando en un fuego aparecen comprometidos equipos eléctricos, siempre existe el peligro de falla (corto circuito). Aun cuando la resistencia eléctrica de un chorro de agua es relativamente elevada, bajo ciertas condiciones pueden ser conducidas cantidades peligrosas de corriente eléctrica a través de una manguera que descarga un chorro compacto. Por ese motivo se han conducido una buena cantidad de estudios muy detallados, a fin de establecer las distancias seguras mínimas entre las boquillas de las mangueras y los conductores cargados con altos voltajes. Debido a las múltiples variables que esas mediciones implican, los resultados de esos estudios deben tomarse con cautela, pero en general suministran un conocimiento básico sobre la naturaleza del problema y su magnitud.

Existe una cierta diferencia de opinión con respecto a la máxima cantidad de corriente que un individuo puede soportar de una manera segura cuando opera con una línea de mangueras. Muchas autoridades consideran que una corriente de 50 mili amperios pasando a través del cuerpo humano es el límite inferior aproximado capaz de producir efectos fatales. Sin embargo, la susceptibilidad de distintos individuos al "shock" eléctrico varía ampliamente, y algunos son sensibles en grados extremos.

La distancia segura de operación con una manguera de agua varía considerablemente según el contenido de sales del agua, que influye sobre su resistividad eléctrica. La resistividad varía según la procedencia del agua. La Tabla Nro. I da las distancias seguras (pies) para las líneas de alto potencial. Esas distancias están basadas en una corriente máxima de 3 mili amperios, admitida como peligrosa para cualquier persona que sostenga la lanza.

Tabla Nro. I

Resistividad del agua (ohmio x centímetros cúbicos)								
V o/ l t i j e r e	500	1.000	1.500	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
	Mínimas distancias seguras (pies)							
440	11	7	5,5	4,5	3	3	3	3
1.100	30	18	14	12	8,5	6,5	5,5	5
2.200	-	30	23	20	15	12	9	8
4.400	-	35	31	28	23	19	16	15
6.600	-	-	34	33	30	26	23	22
13.200	-	-	-	-	33	31	29	28

22.000	-	-	-	-	-	-	-	-
--------	---	---	---	---	---	---	---	---

La Tabla Nro. II muestra los resultados de los ensayos, en los que se intentó imitar las condiciones reales de combate del fuego, empleando agua de la línea de hidrantes, mangueras de 2 ½ pulgadas, y boquillas de 1 ½ pulgada, y también de 1 1/8 pulgada. Las variaciones de voltaje produjeron escaso efecto sobre la corriente conducida por el chorro de agua dentro de un rango entre 5.000 y 30.000 voltios. El aumento de la presión de agua produjo un aumento de la resistencia eléctrica del chorro, efecto que fue muy notable a una distancia de 15 pies, y esto se explica debido a que el efecto de las mayores presiones fue producir un chorro de agua menos compacto a distancias crecientes de la boquilla.

Tabla Nro. II
Pruebas a 30.000 V

Distancia entre la boquilla y el cable (pies)	Resistencia del chorro (ohmio)	Circulación de corriente (amperios)
8	70.000	0,43
12	100.000	0,32
16	135.000	0,22
20	200.000	0,15
22	430.000	0,07
24	770.000	0,04
26	1.100.000	0.03

Conviene tener en cuenta que en los sistemas en que se descarga agua pulverizada o agua en forma de nieblas, las distancias mínimas seguras varían, debido a que el fraccionamiento del agua hace disminuir la circulación de la corriente entre las boquillas de agua pulverizada y el riesgo eléctrico.

La NFPA Nro. 15 "Standard on water spray systems" advierte expresamente sobre los peligros de emplear boquillas de combinación (boquillas para niebla y para chorro compacto) en los equipos empleados para combatir fuegos en instalaciones eléctricas, por el riesgo de utilizar accidentalmente el chorro compacto en lugar del "spray". La boquilla que se utilicen para descargar agua en forma de "spray" sobre instalaciones eléctricas bajo carga, debe ser cuidadosamente ajustadas para lograr la descarga fraccionada del agua, operando a una distancia segura.

La Tabla Nro. III muestra las mínimas distancias seguras para instalaciones fijas de agua en forma de "spray"; entendiéndose, en este caso, que se refiere a las mínimas distancias permisibles entre cualquier sector o parte de la instalación fija del "spray" y los equipos eléctricos o conductores bajo carga.

Tabla Nro. III
Mínimas distancias entre instalaciones fija de "spray" y aparatos eléctricos bajo carga

Voltaje a tierra	Distancia en pulgadas	Voltaje a tierra	Distancia en pulgadas	Voltaje a tierra	Distancia en pulgadas
15.000	6	92.000	30	230.000	76
25.000	8	115.000	37	287.000	98
34.500	12	138.000	44	345.000	120
46.000	15	161.000	52	--	--
69.000	23	196.000	63	--	--

Para las boquillas de "spray" del tipo no ajustable colocadas en los extremos de las líneas de mangueras y destinadas al uso manual, las mínimas distancias seguras entre las boquillas y los conductores eléctricos se muestran en la Tabla Nro. IV. Durante los ensayos, la presión de agua en las boquillas fue de 200 libras por pulgada cuadrada, y la resistencia eléctrica del agua fue algo superior a 1.650 ohmio por centímetro cúbico.

Tabla Nro. IV

Mínimas distancias entre instalaciones fija de "spray" y aparatos eléctricos bajo carga

Voltaje de fase a fase	Voltaje correspondiente entre fase y tierra	Mínima distancia segura (pies)
33.000 o menos	19.000	4
66.000	38.000	6
132.000	76.000	8
220.000	127.000	14

2.7.2) La Tensión Superficial del Agua y los Agentes Humectantes

Discutiremos ahora algunos aspectos vinculados con la tensión superficial. Esto nos permitirá ocuparnos de los agentes que suelen agregarse al agua para disminuir su tensión superficial y nos dará ocasión para comentar la utilidad de esos agentes en la técnica de extinción del fuego.

a) Propiedades físicas y químicas

Aún cuando el agua, tal como se presenta comúnmente, ha sido reconocida como el agente más práctico para el combate del fuego, en virtud de su disponibilidad casi universal, es posible aumentar la eficacia de sus propiedades extintoras por la adición de un agente humectante, para lograr un agua que moje mejor que el agua.

Un agente humectante es un agente químico que, agregado al agua común es proporciones adecuadas, disminuye substancialmente la tensión superficial del agua y aumenta sus propiedades de penetración, difusión, propagación y emulsificación.

La tensión superficial puede definirse como una propiedad de todos los líquidos, producida por fuerzas que tienden a contraer el volumen del líquido y darle una forma tal que el área superficial expuesta sea mínima. Cuando esa tensión superficial se reduce, el agua puede extenderse sobre las superficies mucho más fácilmente y su poder de penetración es mucho mayor. La reducción en la tensión superficial permite que el agua con humectantes se extienda sobre un área mucho mayor que una cantidad igual de agua común (sin humectante) y hace también que el agua con humectante se adhiera a las superficies con mayor tenacidad.

Existen numerosos productos químicos que pueden cumplir la función de agente humectante, pero muy pocos son adecuados para los fines de la técnica de extinción del fuego. Los agentes aceptables están limitados por diversas consideraciones, que incluyen solubilidad, viscosidad, estabilidad, toxicidad y acción corrosiva. Los requisitos mínimos que deben exigirse a los agentes humectantes empleados en la técnica de extinción, son aquellas que no afecten adversamente las propiedades extintoras del agua, ni produzcan daños al personal, las propiedades o los equipos.

b) Propiedades extintoras

El agua con humectantes tiene las mismas propiedades extintoras que el agua común. El elevado calor específico del agua común no resulta afectado por el agregado de un agente humectante, ni tampoco se modifica su calor latente de vaporización. En consecuencia, la cantidad total de calor que puede absorber el agua no aparece modificada por la adición de un agente humectante, pero sin embargo produce un incremento en la eficacia extintora del agua mediante un aumento en la velocidad de absorción del calor para un determinado volumen de agua. Al disminuir la tensión superficial del agua, se produce un aumento en el área superficial libre que el agua presenta para absorber el calor, y de esa forma se reduce substancialmente el tiempo requerido para que el agua enfríe a un material en combustión por debajo de su temperatura de ignición. Como esto produce un aumento en la eficacia extintora del agua, la consecuencia es que la cantidad de agua necesaria para lograr un enfriamiento hasta el nivel requerido, disminuye.

c) Usos y limitaciones

La capacidad del agua con humectante para penetrar a través de superficies porosas, le permite llegar hasta las zonas de combustión profunda, tal como acontece en los fuegos de fardos de algodón y en las pilas de paja de heno o forrajes, penetrando hasta zonas profundas y enfriando eficazmente para impedir la reignición.

Limitaciones sobre fuegos Clase A:

El agua con humectante, aplicada ya sea en forma líquida o en forma de espuma, tiene las mismas limitaciones que el agua común para los fuegos Clase A y no deberán utilizarse en fuegos que involucren productos químicos que reaccionen con el agua, como ocurre con el sodio, carburo de calcio, etc.

Limitaciones sobre fuegos Clase B:

El empleo de agentes humectantes en fuegos Clase B (líquidos inflamables y combustibles) está limitada a aquellos materiales que no son solubles en agua, tales como los productos del petróleo. En general, estas espumas colapsan a la condición líquida a temperaturas inferiores al punto de ebullición del agua, y carecen de la durabilidad y la tenacidad de las espumas de base proteica y baja expansión.

Limitaciones sobre fuegos Clase C:

El agua con humectante tiene las mismas limitaciones que el agua común en fuegos Clase C (equipos eléctricos) por lo que atañe a la vida y seguridad de las personas. No se recomienda la descarga en chorro sólido, pero, si se adoptan las necesarias precauciones, puede descargarse en forma de niebla y chorro pulverizado. Hay que advertir, no obstante, que el agua con humectante, debido a sus propiedades de penetración, puede tener efectos perjudiciales en los equipos eléctricos que tengan conductores recubiertos con telas. Los equipos de esta naturaleza, cuando hayan sido expuestos al agua con humectantes, deben ser lavados a conciencia y secados antes de ponerlos nuevamente en servicio.

2.7.3) Viscosidad y Aditivos Espesantes

La relativamente baja viscosidad del agua hace que ésta se deslice rápidamente por superficies y limite su capacidad para apagar un fuego, mediante la formación de una barrera sobre la superficie de los materiales combustibles. Los aditivos para aumentar la viscosidad del agua (agua pesada) aumentan su efectividad sobre ciertos tipos de incendios.

El agua viscosa es agua común a la que se le han añadido uno o varios agentes espesantes. En proporciones adecuadas, el agua viscosa reúne las siguientes ventajas sobre el agua común:

- Se adhiere y fija fácilmente al material en combustión.
- Se extiende en forma de recubrimiento continuo sobre la superficie del combustible.
- Forma una capa varias veces mayor al espesor del agua común.
- Absorbe calor proporcionalmente a la cantidad de agua presente.
- Puede proyectarse con lanzas de chorro compacto a mayor distancia y altura.
- Después de secarse forma una película dura y seca que aísla el combustible del oxígeno.

Como desventajas del agua viscosa pueden citarse:

- No penetra en los combustibles como el agua común o el agua húmeda.
- Aumenta las pérdidas por fricción en mangueras y tuberías.
- Aumenta el tamaño de las gotas de agua.
- Hace más resbaladizas las superficies donde se aplica, dificultando el andar sobre ellas.

Hasta ahora, la mayor parte de las investigaciones sobre la aplicación del agua viscosa, se han centrado en la lucha contra incendios forestales.

2.7.4) Limitaciones Impuestas por la Reactividad con Ciertos Materiales

Los materiales que reaccionan con el agua generando calor y gases inflamables (carburos, peróxidos, sodio metálico, polvos de magnesio, etc.) plantean problemas muy críticos en la extinción del fuego. Cuando se produce un fuego en lugares en donde esos productos están almacenados, o en zonas próximas, puede ser muy difícil controlarlo por el riesgo de que el agua incremente el fuego o genere explosiones al entrar en contacto con esos materiales.

En todos aquellos casos en que la reacción del producto con el agua sea violenta, los materiales reactivos deberán almacenarse en áreas separadas, resistentes al fuego, tomando los recaudos para que no exista la posibilidad de un fuego que requiera agua para su extinción.

2.7.5) Limitaciones Impuestas por la Temperatura de Congelamiento

En climas o lugares sujetos a temperaturas del orden de cero grado centígrado, debe tenerse presente la posibilidad de que el agua destinada a la extinción alcance su temperatura de congelamiento. El fenómeno de solidificación del agua no se produce en forma instantánea al llegar a cero grado centígrado la temperatura ambiental, sino que aparece vinculado con una serie de factores, entre los cuales hay que mencionar la duración de la exposición previa a la temperatura ambiental, la cantidad de agua puesta en juego, la temperatura inicial de la masa de agua en cuestión, etc.



Afortunadamente, existen buenos recursos para asegurar la provisión del agua destinada al combate del fuego bajo condiciones de bajas temperaturas. Una buena manera de evitar el congelamiento del agua es no tener agua. Esto, que parece una broma, es en realidad lo que se hace con los sistemas de rociadores automáticos de cañería seca, en los cuales las cañerías de suministro de agua hasta los rociadores automáticos contienen aire a presión en lugar de agua, hasta que opera la válvula que da paso al agua, la que proviene de una fuente que no está expuesta al riesgo de congelamiento.

Otros recursos para evitar el congelamiento del agua consisten en hacer circular o en calentar el agua del tanque que alimenta las líneas destinadas al combate del fuego. Finalmente, se suelen agregar productos al agua para disminuir su temperatura de congelamiento. El más comúnmente utilizado es el cloruro de calcio, como este producto es corrosivo, cuando se le utiliza es menester agregar un inhibidor de la corrosión, el utilizado es la glicerina y glicoles.

2.8) Incendios de Gases

El agua utilizada sobre emergencias de incendios de gases se utiliza generalmente para controlar el calor del incendio mientras que se intenta cortar, o detener, el flujo del gas emitido.

EL CO₂ COMO AGENTE EXTINTOR

1) PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO

1.1) Propiedades termodinámicas

1.2) Almacenamiento

1.3) Propiedades de descarga

1.4) Electricidad Estática

1.5) Densidad del Vapor

1.6) Efectos Fisiológicos

2) PROPIEDADES DE EXTINCIÓN DEL CO₂

2.1) Extinción por Sofocación

2.2) Extinción por Enfriamiento

3) LIMITACIONES DEL CO₂ COMO AGENTE EXTINTOR

4) MÉTODOS DE APLICACIÓN

4.1) Inundación Total

4.2) Descarga Prolongada

4.3) Aplicación Local

4.4) Líneas de Mangueras Manuales

4.5) Sistemas Fijos con Suministro Móvil

5) COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAJE DE CO₂

5.1) Sistema de Alta Presión

5.2) Sistemas de Baja Presión

El dióxido de carbono (CO_2), denominado también anhídrido carbónico, se ha venido empleando durante muchos años para la extinción de fuegos de líquidos inflamables, gases, aparatos eléctricos bajo tensión y, en menor medida, contra fuegos de combustibles sólidos, tales como papel, tejidos y otros materiales celulósicos. El CO_2 extingue eficazmente el fuego de la mayoría de los materiales combustibles, excepto en el caso de unos pocos metales combustibles e hidruros metálicos y en materiales que, como en el caso del nitrato de celulosa, contienen oxígeno disponible.

En la actualidad ha sido desplazado en muchos de sus usos por agentes extintores de mayor efectividad específica. Sin embargo, existen tres características que pueden recomendar su utilización: aislamiento dieléctrico, economía y limpieza.

1) PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO

El CO_2 posee varias propiedades que lo convierten en un agente útil para la extinción de incendios. No es combustible y proporciona su propia presión para descargarlo del extintor o del cilindro donde se almacena. Puesto que el CO_2 es un gas, puede penetrar y repartirse por todas las zonas del área incendiada. En forma de gas o como sólido finamente dividido llamado nieve o hielo seco no conduce la electricidad y puede emplearse contra fuegos de equipos eléctricos en tensión. No deja residuos, eliminando la necesidad de limpieza del agente.

1.1) Propiedades termodinámicas

En condiciones normales, el CO_2 es un gas. Se licúa fácilmente por compresión y enfriamiento y puede convertirse en sólido si continúa comprimiéndose y enfriándolo.

1.2) Almacenamiento

El CO_2 líquido puede almacenarse en cilindros a alta presión a temperatura ambiente normal o en contenedores refrigerados a baja presión diseñados para mantener una temperatura de almacenamiento cercana a $-18^\circ C$. La solidificación no constituye problema: sin embargo, cualquier reducción sustancial de la temperatura de almacenamiento (y por tanto de la presión) podría bajar el caudal de descarga a límites inaceptables. Los sistemas de alta presión se diseñan generalmente para funcionar adecuadamente a temperaturas de almacenaje de 0 a $49^\circ C$. Los de baja presión funcionan normalmente a $-18^\circ C$ y no resultan afectados, a menos que la temperatura circundante baje de dicho nivel durante largo tiempo.

1.3) Propiedades de descarga

Una descarga típica de CO_2 posee una apariencia de nube blanca, debido a las partículas finamente divididas de hielo seco transportadas con el vapor. Debido a la baja temperatura se produce alguna condensación de vapor de agua de la atmósfera, provocando una niebla adicional, que persiste hasta algún tiempo después de que las partículas de hielo seco se han depositado o sublimado.

1.4) Electricidad Estática

Las partículas de hielo seco que se producen durante la descarga de CO_2 pueden estar cargadas de electricidad estática. Estas cargas se pueden crear también en las lanzas de descargas que no estén puestas a tierra.

1.5) Densidad del Vapor

El CO_2 tiene una densidad una vez y media superior al aire a la misma temperatura. La descarga fría tiene una densidad mucho mayor, lo cual explica su capacidad para reemplazar al aire por encima de las superficies en ignición y mantener una atmósfera sofocante. Si se usa el CO_2 para inundación total, su mezcla con el aire resultará más densa que el aire atmosférico.

1.6) Efectos Fisiológicos

El CO_2 está normalmente en la atmósfera a una concentración aproximada del 0,03%. En los seres humanos y los animales es un subproducto de la respiración celular. En el cuerpo humano, el CO_2 actúa como regulador de la respiración, asegurando una cantidad de oxígeno adecuada al sistema. Hasta cierto punto, un aumento en el CO_2 en la sangre aumenta la velocidad de la respiración, aumento que llega al máximo a una concentración del 6-7% de CO_2 en el aire. A mayores concentraciones, el ritmo de respiración disminuye, hasta llegar al 25-30% de CO_2 en el aire, que tiene un efecto narcótico que hace que la respiración cese inmediatamente, incluso aunque haya oxígeno suficiente. Una menor cantidad de oxígeno hace que esa concentración narcótica sea mucho mayor y pueda llegar a causar la muerte por asfixia. La concentración exacta de CO_2 que hace que una persona deje de respirar varía de un individuo a otro e incluso para el mismo individuo de un momento a otro.

Se considera que el umbral de CO_2 en el aire cuyos efectos dañinos resultan evidentes, es del 6-7%. Por encima del 9%, la mayoría de las personas quedan inconscientes en poco tiempo. Como la concentración mínima del CO_2 en el aire para extinguir un fuego es muy superior al 9%, hay que prever las adecuadas medidas de seguridad con todos los sistemas de extinción de CO_2 .

El hielo seco que se produce durante la descarga de CO_2 puede producir quemaduras dada su baja temperatura.

2) PROPIEDADES DE EXTINCIÓN DEL CO_2

El anhídrido carbónico es un eficaz agente extintor, principalmente porque reduce el contenido en oxígeno de la atmósfera, mediante dilución, hasta un punto en que no puede continuar la combustión. En condiciones adecuadas de control y aplicación, resulta también beneficioso el efecto refrigerante, sobre todo cuando se aplica directamente sobre el metal que arde.

2.1) Extinción por Sofocación

En un fuego, el calor se genera por la rápida oxidación del material combustible. Parte de este calor se emplea para que el combustible sin quemar alcance su temperatura de ignición, mientras que una parte importante se pierde por radiación y convección, sobre todo en el caso de fuegos superficiales. Si la atmósfera que suministra oxígeno al fuego está diluida con vapores de CO_2 , la velocidad de generación de calor (oxidación) se reduce hasta que sea menor que la

velocidad de disipación. El fuego acaba por extinguirse cuando el combustible se enfría por debajo de su temperatura de ignición.

2.2) Extinción por Enfriamiento

Aunque las temperaturas a las que se produce la descarga de CO_2 pueden llegar a $-79^\circ C$, su capacidad de enfriamiento es muy pequeña comparada con el mismo peso en agua. Este efecto de enfriamiento es más evidente cuando el agente se descarga directamente sobre el material en llamas por aplicación local. Una aplicación masiva que cubra rápidamente la zona incendiada ahoga el fuego y contribuye a enfriar el combustible.

3) LIMITACIONES DEL CO_2 COMO AGENTE EXTINTOR

El empleo de CO_2 en fuegos Clase A se encuentra limitado fundamentalmente debido a:

- a- Reducida capacidad de enfriamiento (las partículas de hielo seco no humedecen o penetran)
- b- Recintos inadecuados para mantener una atmósfera de extinción.

Los fuegos superficiales se extinguen con facilidad porque el enfriamiento natural tiene lugar rápidamente. Por otra parte, si el fuego penetra por debajo de la superficie o bajo materiales que proporcionan aislamiento térmico que reduzca la velocidad de disipación de calor, se necesita un período de enfriamiento mucho más dilatado y quizá una concentración mayor para la extinción total. Esta condición se conoce como combustión profunda.

El CO_2 no es un agente eficaz contra fuegos de productos químicos que disponen de su propio suministro de oxígeno (tales como el nitrato de celulosa). Los fuegos de materiales reactivos (como el sodio, potasio, magnesio, titanio y circonio) y los de hidruros metálicos, no pueden extinguirse con CO_2 . Los metales y los hidruros descomponen el CO_2 .

El CO_2 no deberá de ser utilizado en lugares normalmente ocupados a no ser que se tomen las debidas medidas para garantizar la evacuación antes de que se produzca la descarga. La misma prohibiciones se puede aplicar a lugares que normalmente no están ocupados pero que en ciertos momentos puede encontrarse en ellos ciertas personas. Será difícil garantizar la evacuación si el lugar es grande o si la vía de evacuación se encuentra impedida por obstáculos o por accesos complicados. La evacuación será, incluso, más difícil tras haber iniciado la descarga, debido a la posible confusión que se puede crear como consecuencia del enorme ruido y la visibilidad considerablemente reducida y además los efectos fisiológicos de la concentración del CO_2 pueden confundir a los ocupantes. Se debe tener en cuenta la posibilidad de que escapen grandes volúmenes de CO_2 hacia niveles más bajos sin protección como sótanos, túneles o pozos. En estos casos, la atmósfera sofocante no sería visible, pudiendo detectarse demasiado tarde.

4) MÉTODOS DE APLICACIÓN

Existen dos métodos básicos en la aplicación de CO_2 para la extinción de incendios. Uno consiste en descargar suficiente agente en un recinto para crear una atmósfera extintora en el volumen encerrado. Esto se denomina inundación total. El otro, consiste en descargar directamente sobre el material en combustión para obtener la extinción, sin confinar en un recinto que retenga al CO_2 . Este se denomina aplicación local.

4.1) Inundación Total

Los sistemas de inundación total se utilizan para la extinción de fuegos en recintos cerrados, o con pequeñas superficies abierta respecto a la superficie total que lo delimita.

Fundamentalmente se usan para la extinción de incendios en equipos eléctricos, ya sea en pequeños recintos, o dentro de cubiertas o carcasas.

El esquema típico de estos sistemas es el siguiente: batería de botellas de CO_2 (o depósito de baja presión); baterías de respuesto; tubería de distribución; boquillas de aplicación y sistema de mando y control.

En estos sistemas el CO_2 se aplica mediante toberas, diseñadas y emplazadas de forma tal, que generan una concentración uniforme de CO_2 en todos los puntos del recinto. La cantidad de CO_2 requerida para conseguir una atmósfera extintora se calcula fácilmente, basándose en el volumen de la habitación y en la concentración requerida de CO_2 para el material combustible que se halla en el recinto.

La integridad del propio recinto constituye una parte muy importante del sistema de inundación total. Si el recinto es muy hermético, particularmente en los costados y fondo, la atmósfera puede mantenerse durante largo tiempo, a fin de asegurar el control total del fuego. Si hay aberturas en los costados y fondo, la mezcla, más pesada, de CO_2 y aire puede escapar rápidamente y ser reemplazada con aire que penetre por las aberturas más elevadas. Si la atmósfera de extinción se pierde rápidamente, pueden permanecer brasas incandescentes, que provoquen la reignición cuando el aire alcance la zona de incendio. Es por ello importante que se cierren todas las aberturas para minimizar las fugas, o bien que se compense la atmósfera mediante una descarga adicional de CO_2 . Debido al peso relativo del CO_2 , una abertura en el techo ayuda a liberar la presión interna durante la descarga, con muy poca influencia sobre la velocidad de fugas después de ésta.

4.2) Descarga Prolongada

Se aplica una descarga prolongada de CO_2 cuando un recinto no es lo suficientemente estanco como para mantener la concentración de gas todo el tiempo necesario. Esta descarga se produce normalmente a menor velocidad, después de una fase inicial a mayor velocidad para llegar a una concentración que permita la extinción en un tiempo razonable.

La descarga prolongada se aplica sobre todo a equipos eléctricos giratorios y cerrados, como los generadores, en los que es difícil prever las fugas hasta que dejan de girar. También se puede aplicar a sistemas de inundación total o de aplicación local, cuando hay fuego muy concentrado que hay que enfriar durante bastante tiempo.

4.3) Aplicación Local

La aplicación de estos sistemas es la extinción de incendios en espacios no confinados, mediante una descarga que cubra todas las superficies del riesgo y las zonas adyacentes que puedan verse involucradas con la suficiente densidad de aplicación de agente extintor, durante el tiempo necesario para conseguir la extinción total del incendio.

En estos sistemas, el CO_2 se aplica directamente a las superficies en combustión, mediante toberas especialmente diseñadas a dicho efecto. El objeto es cubrir todas las superficies combustibles mediante toberas emplazadas estratégicamente, a fin de extinguir todas las llamas lo más rápidamente posible. Cualquier zona adyacente a la que el combustible pueda propagarse debe ser también cubierta, porque cualquier fuego residual podrá provocar la

reignición, una vez la descarga de CO_2 ha finalizado. La descarga debe durar al menos 30 segundos, o más tiempo si se requiere enfriar una fuente potencial de reignición.

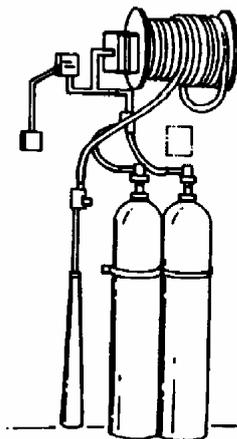
Las boquillas de descarga, al contrario que en la mayoría de los sistemas de inundación total, deben ser de baja velocidad, tipo difusor.

4.4) Líneas de Mangueras Manuales

Los sistemas de mangueras manuales suplementan a los extintores portátiles, cuando el riesgo a proteger exige eficacias mayores, o a los sistemas fijos, cuando la disposición del riesgo permite suponer la posibilidad de zonas reducidas insuficientemente protegidas. El uso de estos sistemas puede aplicarse a la protección de riesgos con geometrías complicadas, en los que no se vayan a originar fuegos tales que impidan la aproximación de las personas, e insuficientemente confinados para utilizar sistemas de inundación.

Las tomas de mangueras deben encontrarse más próximas a las vías de escape que los riesgos que protegen, y en una situación relativa, respecto al riesgo, que los haga accesibles en caso de incendio.

Las mangueras deben estar permanentemente conectadas, situadas en soportes de tipo debanadora.



Los sistemas de CO_2 consistentes en mangueras manuales conectadas permanentemente a una fuente de alimentación fija de CO_2 por medio de tuberías, sirven para aplicación local y para inundación total. Aunque no sustituyen a los sistemas fijos, pueden emplearse los sistemas de mangueras como complemento de los sistemas fijos cuando el punto donde pueda producirse el incendio sea accesible para combatirlo manualmente. También puede emplearse para complementar el equipo portátil.

Hay que tener en cuenta que los cilindros de CO_2 son pesados, por lo que este sistema permite una mayor movilidad y rapidez en la extinción manual, al no tener que estar moviendo el cilindro; logrando también una mayor capacidad de almacenamiento de agente al tener los cilindros fijos.

4.5) Sistemas Fijos con Suministro Móvil

Se utilizan para inundación total en el caso de que haya muchos riesgos específicos similares y no se considere preciso disponer del suministro de agente extintor necesario para el uso simultáneo de todos los sistemas. Generalmente, el suministro móvil está concebido también para uso manual. Las condiciones para su aplicación son las siguientes:

- Los riesgos protegidos están lo suficientemente separados física y funcionalmente como para suponer improbable el incendio simultáneo.
- El retraso previsto en el comienzo de la extinción no es importante en lo que se refiere tanto a las dificultades de extinción como a la propagación del incendio a otros elementos o zonas.

5) COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAJE DE CO₂

El suministro de CO₂ puede almacenarse en contenedores de presión alta y baja. Debido a las diferencias de presión, el diseño del sistema queda influido por el método de almacenaje.

5.1) Sistema de Alta Presión

Los recipientes para almacenaje de CO₂ a alta presión (normalmente cilindros) están calculados para almacenar el producto en forma líquida a temperatura ambiente. Puesto que la máxima presión del cilindro o de cualquier otro recipiente depende de la temperatura ambiente, es importante que el recipiente esté calculado para resistir las máximas presiones previsibles.

5.2) Sistemas de Baja Presión

Los recipientes de almacenamiento de baja presión están calculados para presión de trabajo de por lo menos 2.240 kPa. Se mantienen a una temperatura aproximada de -18 °C por medio de aislamiento y refrigeración mecánica.

EL POLVO COMO AGENTE EXTINTOR

- 1) PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS SECOS
 - 1.1) Estabilidad
 - 1.2) Toxicidad
 - 1.3) Dimensión de las Partículas
- 2) PROPIEDADES EXTINTORAS
 - 2.1) Acción sofocante
 - 2.2) Acción Enfriadora
 - 2.3) Apantallamiento de la Radiación
 - 2.4) Rotura de la Reacción en Cadena
- 3) USOS Y LIMITACIONES
- 4) SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR POLVO QUÍMICO SECO
- 5) MÉTODOS DE APLICACIÓN
 - 5.1) Sistemas Fijos
 - 5.2) Sistemas a Base de Mangueras Manuales
- 6) DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE POLVO QUÍMICO SECO
 - 6.1) Almacenamiento del Polvo y del Gas Impulsor

El polvo seco es una mezcla de polvos que se emplea como agente extintor; se aplica por medio de extintores portátiles, mangueras manuales o sistemas fijos. Los primeros agentes de este tipo que se desarrollaron fueron a base de bórax y de bicarbonato sódico. El bicarbonato sódico llegó a ser el más empleado por su mayor eficacia como agente extintor. En 1.960 se modificó el polvo seco a base de bicarbonato sódico, para hacerlo compatible con las espumas proteínicas de baja expansión y permitir su empleo en los ataques de dobles agentes. Entonces, aparecieron los polvos polivalentes (a base de fosfato de monoamónico) y "Purple-K" (a base de bicarbonato potásico) para su uso como agente extintor. Poco después apareció el Super-K (a base de cloruro potásico), con igual eficacia que le "Purple-k". A fines de los 60 los británicos crearon un polvo seco a base de bicarbonato de urea-potasio. Actualmente, hay cinco variedades básicas de agentes extintores de polvo seco.

Los términos "polvo regular" y "polvo ordinario" se refieren, generalmente, a los polvos clasificados para su empleo contra los fuegos de Clase B o de Clase C. El término "polvo polivalente" se refiere a los polvos que están homologados para su empleo contra fuegos de Clase A, Clase B y Clase C (se denomina también polvo antibrasa o polvo ABC). Los términos "polvo ordinario, polvo polivalente y polvo regular" no deben confundirse con los términos "polvo especial" o "compuesto especial", que son los que se emplean para identificar los agentes extintores en polvo que se idearon inicialmente para los fuegos de metales combustibles.

Al polvo seco se le reconoce su extraordinaria eficacia para la extinción de fuegos de líquidos inflamables. También puede emplearse contra fuegos de algunos tipos de equipo eléctrico. El polvo seco normal está limitado a aplicaciones para la extinción de fuegos superficiales con llama de los materiales combustibles sólidos, pero para apagar los fuegos incandescentes profundos se necesita el empleo de agua. El polvo polivalente puede emplearse contra fuegos de líquidos inflamables, de equipos eléctricos bajo tensión y de materiales sólidos.

1) PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS SECOS

Los principales productos básicos que se emplean en la producción de polvos secos disponibles son: bicarbonato sódico, bicarbonato potásico, cloruro potásico, bicarbonato de urea-potasio y fosfato monoamónico. Estos productos se mezclan con varios aditivos para mejorar sus características de almacenamiento, de fluencia y de repulsión al agua. Los aditivos más comúnmente empleados son estearatos metálicos, fosfato tricálcico o siliconas, que recubren las partículas de polvo seco para conferirles fluidez y resistencia a los efectos del endurecimiento y formación de costras por humedad y vibración.

1.1) Estabilidad

Los polvos secos son estables, tanto a temperaturas bajas como normales. Sin embargo, como algunos de los aditivos pudieran fundirse y hacer que los materiales fuesen pegajosos a temperaturas más altas, se recomienda, generalmente, una temperatura máxima de almacenamiento de 49°C. Temperaturas de hasta 66°C son aceptables para duraciones muy breves. A temperaturas de incendio, los compuestos activos se disocian o descomponen mientras cumplen su función de extinción. Resulta de extrema importancia el peligro causado por la mezcla indiscriminada de los distintos polvos químicos. Por ejemplo, si se mezcla polvo polivalente (a base de monoamónico), que es ácido, con un polvo alcalino (la mayoría de los polvos químicos), se produce una reacción indeseable que libera CO₂, formando un aglutinante. Debido a este fenómeno, se han producido explosiones en cilindros de extinción.

1.2) Toxicidad

Los ingredientes que se emplean actualmente en los polvos secos no son tóxicos. Sin embargo, la descarga de grandes cantidades puede causar algunas dificultades temporales de la respiración durante e inmediatamente después de la descarga y puede interferir gravemente con la visibilidad.

1.3) Dimensión de las Partículas

La dimensión de las partículas de los polvos secos oscila desde menos de 10 micras hasta 75 micras. La dimensión de las partículas tiene un efecto definitivo sobre su eficacia extintora y se requiere un control cuidadoso para impedir que las partículas excedan del límite máximo y mínimo de su campo de eficacia. Se tienen los mejores resultados en mezclas heterogéneas con una partícula media de 20 a 25 micras.

2) PROPIEDADES EXTINTORAS

Las pruebas realizadas en fuegos de líquidos inflamables han demostrado que los polvos secos a base de bicarbonato potásico son más eficaces que los de bicarbonato sódico. Igualmente, los de fosfato monoamónico se han hallado de igual o mayor eficacia que los de bicarbonato sódico. La eficacia del cloruro potásico es aproximadamente igual a la del bicarbonato potásico y el bicarbonato de potasio-urea posee la mayor eficacia de todos los polvos secos que se han probado.

Cuando se arroja directamente sobre el área incendiada, el polvo seco apaga la llama casi instantáneamente. El mecanismo y la química de esta acción extintora no se conocen con exactitud. La sofocación, el enfriamiento y la obstrucción de la radiación contribuyen a la eficacia extintora de estos productos, pero los estudios realizados sugieren que la reacción de rotura de la cadena en la llama puede ser la causa principal de extinción.

2.1) Acción sofocante

Ha sido una creencia generalizada durante muchos años que las propiedades extintoras de los polvos secos regulares se basaban en la acción sofocante del CO_2 que se produce cuando el bicarbonato sódico recibe el calor del fuego. Sin duda alguna, el CO_2 contribuye a la eficacia del agente igual que lo hace el volumen del vapor de agua que se emite al calentarse el polvo seco. Sin embargo, generalmente, las pruebas han desmentido la creencia de que estos gases sean un factor fundamental de extinción.

Cuando se descargan los polvos polivalentes contra combustibles sólidos incendiados, el fosfato monoamónico se descompone por el calor, dejando un residuo pegajoso (ácido metafosfórico) sobre el material incendiado. Este residuo aísla el material incandescente del oxígeno, extinguiendo así el fuego e impidiendo su reignición.

2.2) Acción Enfriadora

No se puede demostrar que la acción enfriadora de los polvos secos sea una razón importante que explique su capacidad para extinguir rápidamente los fuegos. Un informe basado sobre los estudios de la capacidad térmica de distintos polvos ensayados para comprobar su eficacia extintora contiene más información sobre estos extremos. La energía calorífica

requerida para descomponer los polvos secos desempeña un papel primordial en la extinción. El efecto, por sí mismo, es pequeño; para que sea eficaz, el polvo seco debe ser sensible al calor y absorber calor a fin de que sea químicamente activo.

2.3) Apantallamiento de la Radiación

La descarga del polvo seco produce una nube de polvo que se interpone entre la llama y el combustible. Esta nube separa al combustible de una parte del calor radiado por la llama. Las pruebas para evaluar este factor llegaron a la conclusión de que el factor de apantallamiento es de cierta importancia.

2.4) Rotura de la Reacción en Cadena

Las acciones extintoras explicadas anteriormente contribuyen, cada una en cierto grado, a la acción extintora de los polvos secos. Sin embargo, los estudios revelan que existe aún otro factor que contribuye a la extinción en mayor medida que los otros factores combinados.

La teoría de la combustión por reacción en cadena ha sido propuesta por varios investigadores con la intención de ofrecer una pista de cuál pudiera ser este factor extintor desconocido. Esta teoría supone que en la zona de combustión se encuentran presentes radicales libres y que las reacciones de estas partículas entre sí son necesarias para que continúe la combustión. La descarga del polvo seco sobre las llamas impide que estas partículas reactivas se encuentren y continúe la combustión de la reacción en cadena. Esta explicación se denomina mecanismo de extinción por rotura de la reacción interna en cadena.

3) USOS Y LIMITACIONES

Los polvos secos se utilizan principalmente para extinguir fuegos de líquidos inflamables. Por ser eléctricamente no conductores, también pueden emplearse contra fuegos de líquidos inflamables en que también participan equipos eléctricos bajo tensión.

Debido a la rapidez con que estos agentes extinguen las llamas, los polvos secos se emplean sobre fuegos de superficies de materiales combustibles sólidos (fuego Clase A). Sin embargo, siempre que se empleen estos agentes contra fuegos de Clase A, de tipo superficial, deben ser complementados con agua pulverizada para apagar las brasas incandescentes o cuando el fuego profundiza por debajo de la superficie.

Este tipo de polvos secos no produce atmósferas inertes duraderas por encima de la superficie de los líquidos inflamables; consecutivamente, su empleo no da como resultado una extinción permanente si las fuentes de reignición, tales como superficies metálicas calientes, continúan estando presentes.

No deben emplearse polvos secos en instalaciones donde se encuentren disyuntores u otros contactos eléctricos delicados, puesto que en estas instalaciones, las propiedades aislantes de los polvos secos pueden inutilizar el equipo. Debido a la corrosividad de los polvos secos, deben eliminarse de las superficies no dañadas lo antes posible después de extinguido el fuego.

Los polvos secos normales no extinguen fuegos que profundicen por debajo de la superficie. Tampoco extinguen los fuegos de los materiales que se alimentan de su propio oxígeno para arder.

Los polvos secos pueden ser incompatibles con las espumas mecánicas, a no ser que los polvos secos se hayan preparado especialmente para que sean aceptablemente compatibles.

4) SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR POLVO QUÍMICO SECO

Los sistemas de polvo seco pueden emplearse en todos los casos en que se necesite una extinción rápida y donde no haya posibles fuentes de reignición. Se emplean principalmente donde no existe peligro de incendio de líquidos inflamables tales como cubetas de inmersión, salas de almacenamiento de líquidos inflamables y puntos donde puedan ocurrir derrames de líquidos inflamables. Se han proyectado sistemas para la protección de campanas de extracción de cocinas, conductos y otros riesgos relacionados con los fogones de cocinas industriales, como es el caso de freidoras. Pueden emplearse agentes de polvo seco lanzados con mangueras manuales para extinguir incendios de líquidos o gases bajo presión, seguido del cerramiento de las válvulas de cierre del combustible.

Puesto que el polvo seco no conduce la electricidad, estos sistemas de extinción pueden emplearse contra equipos eléctricos afectados por fuego de líquidos inflamables, tales como transformadores e interruptores en baño de aceite. Sin embargo, no se recomienda su utilización para proteger equipos eléctricos delicados, como centrales telefónicas y ordenadores; pueden sufrir daños al depositarse sobre ellos el agente extintor y debido a las propiedades aislantes de éste puede resultar necesaria una limpieza muy cuidadosa y extensa para restaurarlos y devolverlos a su estado primitivo.

Se ha empleado, aunque no muy extensamente, sistemas de polvo normas aplicado mediante mangueras manuales para atacar fuegos superficiales de propagación rápida de materiales combustibles ordinarias tales como algodón en balas. En estas aplicaciones, los sistemas de polvo solamente sirven para detener o impedir la rápida propagación superficial del fuego y deben completarse con la aplicación de agua para apagar los fuegos profundos. Actualmente hay sistemas de polvo polivalente (a base de fosfato amónico) que tienen la ventaja adicional de resultar adecuadas para proteger materiales combustibles ordinarios siempre que el polvo puede llegar a toda la superficie incendiada.

5) MÉTODOS DE APLICACIÓN

Los dos tipos básicos de sistemas de polvo se denominan sistemas fijos y sistemas de manguera manual. Los otros métodos para la aplicación de polvo seco son extintores portátiles manuales o montados sobre ruedas.

5.1) Sistemas Fijos

Los sistemas de polvo fijos consisten en un suministro de agente, un gas impulsor, un método de activación, tuberías fijas y lanzas o boquillas a través de las cuales se descarga el agente extintor sobre la zona protegida. Los sistemas fijos son de dos clases: de inundación total y de aplicación local.

Para la inundación total por tuberías y lanzas fijas, se descarga una cantidad predeterminada de polvo dentro de un recinto cerrado donde se encuentre el foco peligroso. La inundación total es aplicable solamente cuando el punto de peligro esté en un recinto cerrado o cuando toda las aberturas puedan cerrarse automáticamente en el momento en que comienza la descarga. Solamente cuando no es previsible la reignición puede emplearse este método, puesto que la acción extintora es transitoria.

La aplicación local difiere de la inundación total en el sentido de que las boquillas están dispuestas para descargar directamente sobre el punto donde se prevé que puede declararse el

fuego. La aplicación local es útil en aquellas situaciones en que el punto peligroso puede aislarse de otros objetos potencialmente peligrosos de modo que el fuego no se propague fuera de ella zona protegida. El principal empleo de los sistemas de aplicación local es la protección de depósitos abiertos de líquidos inflamables. Igual que sucede en los sistemas de inundación total, la aplicación local no es eficaz a no ser que la extinción sea inmediata y no existan fuentes de posibles reignición.

5.2) Sistemas a Base de Mangueras Manuales

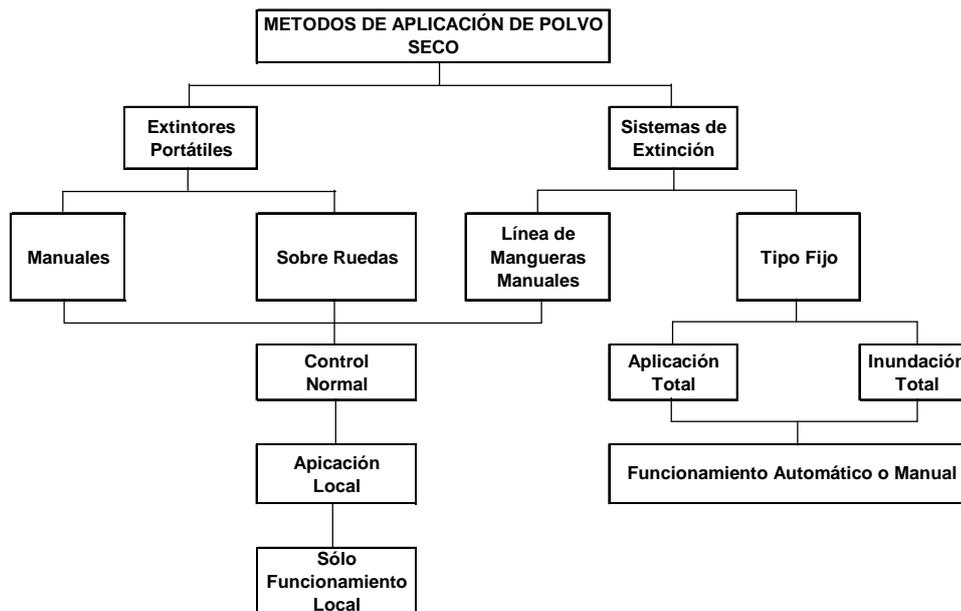
Los sistemas de mangueras manuales constan de un suministro de polvo seco y un gas impulsor con una o varias líneas de mangueras manuales para distribuir el agente extintor y dirigirlo contra el fuego. Los puestos de mangueras están conectados a los recipientes de agente extintor de polvo, directamente o por medio de tuberías intermedias. Pueden suministrar rápidamente cantidades grandes de agente para extinguir incendios relativamente extensos como los que pueden producirse en las instalaciones para cargamento de cisternas de gasolina, almacenes de líquidos inflamables, locomotoras diesel y de turbina de gas y hangares de aeronaves.

6) DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE POLVO QUÍMICO SECO

Los sistemas de polvo seco consisten generalmente en depósitos de almacenamiento del agente y del gas impulsor, además de tuberías y mangueras para transportarlos hasta la zona de incendio, boquillas o difusores para asegurar su correcta distribución y mecanismo de activación manuales o automáticos.

Los sistemas de polvo pueden ser hechos a medida o normalizados según la forma en que se determine la cantidad del agente químico en polvo empleado, la velocidad de descarga, el diámetro y la longitud de las tuberías, y el número de diámetro de los acoplamientos. Los sistemas hechos a medida pueden proyectarse y calcularse individualmente según las necesidades particulares del riesgo que se desea proteger, para determinar con relación a ellas la velocidad de descarga, la presión de las boquillas, el diámetro de las tuberías, las cantidades de polvo y el número, el tipo y emplazamiento de las boquillas.

Los sistemas normalizados suelen emplearse para proteger fogones y extractores de cocina, incluyendo freidoras. Sólo los agentes de polvo alcalino pueden emplearse en estos casos (bicarbonato sódico, de potasio, etc.), para saponificar las grasas y aceites.



6.1) Almacenamiento del Polvo y del Gas Impulsor

El polvo seco se guarda en recipientes a presión, generalmente de acero soldado, a presión atmosférica, hasta que el sistema es accionado, a la presión del gas impulsor almacenado junto con él.

Los recipientes en los que se almacena el polvo separadamente a presión atmosférica, están provistos de un orificio de entrada para el gas impulsor, una abertura para el llenado hermética a la humedad y una abertura de salida del polvo. La entrada del gas conduce a un sistema de tubos internos de tal forma que cuando el gas penetra en el depósito agita el polvo y se mezcla con él, haciéndolo fluir. El orificio de salida del polvo contiene discos de ruptura o válvulas para permitir que se forme una presión de trabajo adecuada en el depósito antes de que comience la descarga del agente. El conjunto del gas impulsor consiste en un envase a presión, además de las necesarias válvulas, reguladores y tuberías para hacerlo pasar al depósito de almacenamiento del polvo, a presión y con el caudal necesario. El gas impulsor suele ser nitrógeno, pero también se emplea anhídrido carbónico.

LA ESPUMA COMO AGENTE EXTINTOR

- 1) USOS Y LIMITACIONES DE LAS ESPUMAS
- 2) TIPOS DE ESPUMA
 - 2.1) Agentes Espumantes Formadores de Películas Acuosas (AFFF)
 - 2.2) Agentes Espumantes Fluoroproteínicos (FP)
 - 2.3) Agentes Fluoroproteínicos que Forman Película (FFFP)
 - 2.4) Agentes Espumantes Proteínicos (P)
 - 2.5) Agentes Espumantes de Baja Temperatura
 - 2.5) Espumas de Tipo Alcohol (AR)
 - 2.6) Agentes Espumantes de Alta y Media Expansión
 - 2.7) Agentes y Polvos Espumantes Químicos
- 3) DIRECTRICES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS MEDIANTE ESPUMA
- 4) MÉTODOS DE GENERACIÓN DE ESPUMAS
 - 4.1) Dosificadores de Concentrados Espumantes
 - 4.2) Eductor de Lanza
 - 4.3) Inductor en Línea
 - 4.4) Dosificador Alrededor de la Bomba
 - 4.5) Dosificador de Bomba y Motor
- 5) AGENTES COMBINADOS O EQUIPOS GEMELOS

La espuma como agente extintor consiste en una masa de burbujas rellenas de gas que se forman a partir de soluciones acuosas de agentes espumantes de distintas fórmulas. Puesto que la espuma es más ligera que la solución acuosa de la que se forma y más ligera que los líquidos inflamables o combustibles, flota sobre éstos, produciendo una capa continua de material acuoso que desplaza el aire, enfría e impide el desprendimiento de vapor con la finalidad de detener o prevenir la combustión.

La espuma se produce mezclando un concentrado espumante con agua en concentración adecuada, aireando y agitando la solución para formar las burbujas. Algunas son espesas y viscosas, capaces de formar capas fuertemente resistentes al calor por encima de la superficie de los líquidos incendiados, incluso en superficies verticales. Otras espumas son más delgadas pero se extienden más rápidamente. Otras producen una película que detiene el paso del vapor por medio de una solución acuosa superficialmente activa. Otras sirven para producir grandes volúmenes de celdillas de gas húmedo para inundar superficies y ocupar totalmente los espacios.

Las espumas se definen por su reacción de expansión, la cual es la relación del volumen de espuma final en relación con el volumen de la espuma original antes de añadir aire. Quedan arbitrariamente subdivididas en tres tipos:

- a) Espuma de baja expansión, expansión hasta 20:1
- b) Espuma de media expansión, expansión de 20 hasta 200:1
- c) Espuma de alta expansión, expansión de 200 hasta 1.000:1

Las espumas se definen también por su eficacia con los combustibles hidrocarbonados, con los combustibles miscibles con agua, o con ambos.

Existen varios métodos para generar y aplicar las espumas. Este capítulo se ocupa de describir las características básicas de los distintos agentes espumantes y de los métodos para producir las espumas en relación con la lucha contra el fuego, así como las aplicaciones específicas de equipos y sistemas destinados a los distintos tipos de riesgos.

1) USOS Y LIMITACIONES DE LAS ESPUMAS

La espuma de baja expansión va dirigida a extinguir fuegos causados por derrames de líquidos inflamables o combustibles, o fuegos en depósitos, mediante la formación de una carga coherente refrigerante. La espuma es el único agente extintor permanente que se emplea para fuegos de este tipo. Su aplicación permite a los bomberos extinguir fuegos de una manera progresiva. Una capa de espuma que cubra la superficie de un líquido es capaz de impedir la transmisión de vapor durante algún tiempo, dependiendo de la estabilidad y espesor. Cuando los derrames de combustibles se cubren con espumas, dejan rápidamente de ser peligrosos. Después de un tiempo prudencial puede retirarse la espuma, generalmente sin efectos perjudiciales sobre el producto con el que ha entrado en contacto.

Pueden emplearse para reducir o detener la producción de vapores inflamables procedentes de líquidos o sólidos que no ardan. También pueden usarse para llenar cavidades o recintos donde puedan haberse acumulado gases tóxicos o inflamables.

La espuma es de vital importancia donde haya aviones repostando o en funcionamiento. Los grandes derrames de combustibles, que se producen de forma súbita en caso de accidente o

CURSO AVANZADO DE PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

averías en aviones, exigen la aplicación rápida de espuma. La protección contra incendios en hangares se consigue mediante sistemas rociadores de espuma y agua y equipos portátiles de espuma.

Las espumas del tipo de alta expansión (200 a 1.000 veces) pueden emplearse para llenar recintos, tales como zonas de sótanos o bobedas de barcos, donde resulta difícil o imposible llegar al incendio. En estos casos, las espumas detienen la convección y el acceso de aire para la combustión. Su contenido de agua enfría y el oxígeno disminuye por desplazamiento mediante vapor. Las espumas de este tipo, con expansiones de 400 a 500 pueden emplearse para controlar fuegos de derrames de gas natural licuado y ayudan a disipar la nube de vapor.

Muchas espumas se generan a partir de soluciones de tensión superficial muy baja y características penetrantes. Las espumas de este tipo son útiles donde existan materiales combustibles de Clase A. En dichos casos, el drenaje de la solución acuosa de la espuma enfría y humedece el combustible sólido.

La espuma se disuelve, vaporizando su contenido de agua bajo el ataque del calor y de las llamas. Por lo tanto, debe aplicarse a las superficies ardientes a volumen y velocidad suficiente para compensar estas pérdidas y para proporcionar la cantidad sobrante que garantice que se forme la capa residual de líquido inflamable sobre la parte ya extinguida del fuego. La espuma es una emulsión inestable de aire y agua que puede disolverse fácilmente por fuerzas físicas o mecánicas. Ciertos vapores o fluidos químicos pueden también destruirlas fácilmente. Cuando se emplean otros tipos distintos de agentes extintores en combinación con la espuma, también pueden ocurrir otras formas de disolución. El aire en turbulencia o el violento levantamiento de los gases de la combustión pueden apartar las espumas ligeras de la zona incendiada.

Las soluciones de espuma son conductoras y, por ello, no recomendables para fuegos eléctricos. Si se utiliza espuma pulverizada, resulta menos conductora que un chorro compacto. Sin embargo, por ser cohesiva y mantener materiales que permiten al agua ser conductora, la espuma pulverizada resulta más conductora que el agua pulverizada.

Con el objeto de que la espuma sea eficaz, deben aplicarse los siguientes criterios para líquidos peligrosos:

- a) El líquido ha de estar por debajo de su punto de ebullición a presión y temperatura ambientales.
- b) Debe tenerse cuidado al aplicar espuma en líquidos con una temperatura general mayor a 100 °C. A estas temperaturas de combustibles, las espumas forman una emulsión de vapor, aire y combustible. Esto puede generar que el volumen se cuadruplique cuando se aplique a un depósito incendiado, con el peligro de que se produzca espumación o se vierta el líquido inflamable.
- c) El líquido no debe mostrarse destructivo con la espuma empleada ni tampoco la espuma debe ser altamente soluble.
- d) El líquido no debe ser reactivo con el agua.
- e) El fuego debe ser horizontalmente superficial. Los fuegos tridimensionales no pueden extinguirse mediante espuma, a menos que el líquido tenga un punto de inflamación relativamente alto y pueda enfriarse hasta la extinción por el agua de la espuma.

2) TIPOS DE ESPUMA

Existen diversos agentes espumantes, algunos de los cuales se emplean en aplicaciones específicas. Algunos sirven para extinguir todo tipo de líquidos inflamables, incluyendo líquidos destructores de espuma y solubles en agua.

2.1) Agentes Espumantes Formadores de Películas Acuosa (AFFF)

Los agentes espumantes formadores de películas acuosa se componen de materiales sintéticos que forman espumas de aire similares a las producidas por materiales a base de productos proteicos. Además, son capaces de formar películas de soluciones acuosa sobre la superficie de los líquidos inflamables. De aquí les viene su nombre. Estos productos se conocen por sus iniciales en inglés, AFFF "aqueous film-forming foam". Los concentrados de AFFF se encuentran comercialmente en proporciones para producir una concentración final del tres o del seis por ciento en volumen, ya sea con agua dulce o con agua salada.

Las espumas de aire generadas por las soluciones de AFFF poseen baja viscosidad, rápida extensión y nivelación y actúan como barreras superficiales para impedir el contacto del combustible con el aire y detener su vaporización, igual que lo hacen las otras espumas. La película puede perder su eficacia cuando la superficie está muy caliente, y también en su empleo contra incendios de hidrocarburos aromáticos. Para garantizar la extinción del fuego, la superficie del combustible debe estar totalmente recubierta por una capa de AFFF, igual que sucede con otros tipos de espumas.

En el kerosene, los agentes AFFF fluyen bien y forman películas muy resistentes, por lo que son especialmente adecuados para extinguir los incendios de derrames de combustibles de aviación.

Los concentrados de AFFF no son tóxicos y sí biodegradables en forma diluida. Los concentrados de AFFF pueden almacenarse durante largos períodos de tiempo sin que se degraden sus características.

Debido a la tensión superficial extremadamente baja de las soluciones que se obtienen con AFFF, pueden ser útiles para fuegos de clase mixta (Clase A y Clase B) en los que se necesita la profunda penetración del agua además de la acción de protección superficial de la espuma.

Para emplear adecuadamente el AFFF se necesitan aparatos generadores que produzcan espumas estables y homogéneas. También pueden emplearse aparatos espumantes menos sofisticados gracias a la intrínseca capacidad de las soluciones AFFF para formar espuma fácil y rápidamente. En algunas situaciones pueden emplearse equipos de pulverización. También pueden emplearse en combinación con polvo químico sin que se presenten problemas de incompatibilidad. Aunque los concentrados de AFFF no deben mezclarse con otros tipos de concentrados de espumas, las espumas que producen no atacan a las espumas de otros tipos durante las operaciones de lucha contra el fuego. Las temperaturas normales de empleo de estos agentes varían entre 1,5 y 50 °C.

2.2) Agentes Espumantes Fluoroproteínicos (FP)

Los concentrados empleados para la generación de espumas de fluoroproteínicas son de composición similar a los de proteína. Además de los polímeros proteínicos contienen en la superficie agentes fluorados activos que le confieren la propiedad de no adherirse al combustible, lo que les hace especialmente eficaces para luchar contra fuegos en que la espuma queda sumergida o cubierta por el combustible, como por ejemplo en el método de inyección de la

espuma por debajo de la superficie para combatir incendios de grandes depósitos. Las espumas de fluoroproteínas alcanzan su máxima eficacia en la lucha contra fuegos de líquidos derivados del petróleo o de hidrocarburos en depósitos de gran profundidad, debido a esta propiedad a falta de adherencia a líquidos combustibles. Además, estas espumas demuestran ser más compatibles con agentes en polvo que las espumas de proteínas simple. También poseen superiores características en lo que se refiere a la supresión del vapor y a la autocombustión. Los concentrados del tres al seis por ciento en volumen con agua dulce o salada. No son tóxicos y son biodegradables después de disolverse. Las temperaturas normales a las que pueden emplearse estos agentes van de -7 a 49 °C.

2.3) Agentes Fluoroproteínicos que Forman Película (FFFP)

Los agentes fluoroproteínicos que forman película están compuestos de proteínas junto con agentes fluorados, superficialmente activos, que les hacen capaces de formar películas de solución acuosa sobre la superficie de líquidos inflamables y les confieren la propiedad de separar el combustible de la espuma formada.

Las espumas de aire formadas a partir de soluciones de FFP tienen características de rápida propagación y aumento, como las otras espumas, se comportan como barreras de superficie que excluyen el aire e impiden la vaporización. Como las AFFF, generan una película continua flotante en las superficies de combustibles hidrocarburos lo que ayudan a suprimir los vapores combustibles. Sin embargo, para garantizar la extinción del incendio, una capa de FFFP, como con otros tipos de espuma, debería cubrir la totalidad de la superficie del combustible.

Debido a la rapidez y a la facilidad de la capacidad espumante de las soluciones FFFP, se pueden utilizar dispositivos de pulverización de agua en muchas ocasiones. Sin embargo, las espumas producidas drenan con rapidez y no son de absoluta confianza tras el incendio.

Los concentrados tipo fluoroproteínicos que forman película son capaces de proporcionar una concentración final de tres o seis por ciento por volumen, utilizando agua dulce o salada. Pueden utilizarse junto con agentes de productos químicos secos sin problemas de compatibilidad, y no son tóxicas.

2.4) Agentes Espumantes Proteínicos (P)

Las espumas físicas de tipo proteínico consisten en concentrados líquidos acuosos y agua en las proporciones adecuadas. Estos concentrados contienen polímeros proteínicos naturales de alto peso molecular derivados de la transformación e hidrólisis de proteínas sólidas naturales. Los polímeros confieren a las espumas que se generan con ellos elasticidad, resistencia mecánica y capacidad de retención del agua. Los concentrados también contienen sales metálicas disueltas, que refuerzan la capacidad de los polímeros proteínicos para formar burbujas cuando la espuma está expuesta al calor y las llamas. También se añaden disolventes orgánicos a los concentrados para mejorar su capacidad de espumación y su uniformidad, así como para regular su viscosidad a bajas temperaturas. Existen concentrados proteínicos para proporcionar una concentración final del tres o del seis por ciento por volumen, con agua dulce o con agua salada. En general, estos concentrados producen espumas densas y viscosas de alta estabilidad y elevada resistencia al calor, pero presentan menos resistencia a su propia combustión que la mayor parte de los agentes espumantes. No son tóxicos y son biodegradables después de diluirse. Las temperaturas ambientes normales de uso de estos concentrados son entre -7 y 49 °C.

2.5) Agentes Espumantes de Baja Temperatura

Este tipo de concentraciones espumantes está protegido para su almacenamiento a bajas temperaturas por la inclusión en la mezcla de un reductor del punto de congelación. Los agentes espumantes para baja temperatura pueden emplearse hasta temperaturas de $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Existen para su empleo en concentraciones del tres o del seis por ciento tanto para agua dulce como para agua salada y pueden ser de tipo proteínico o AFFF.

2.6) Espumas de Tipo Alcohol (AR)

Las espumas que generan los agentes ordinarios están expuestas a la disolución rápida y pérdida de efectividad cuando se emplean en fuegos de líquidos combustibles hidrosolubles, hidromiscibles o del tipo de disolvente polar. Ejemplos de este último tipo de líquidos son los alcoholes, esmaltes y disolventes de laca, metil etil cetona, acetona, éter isopropílico, acrilonitrilo, acetatos de etilo y de butilo y las aminas y los anhídridos. Incluso pequeñas cantidades de estas sustancias mezcladas con combustibles de hidrocarburos comunes producirán la rápida disolución de las espumas contra incendios normales.

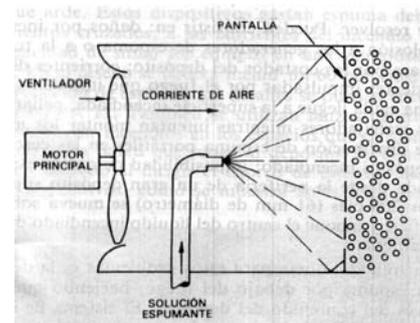
Por lo tanto, se han creado ciertos agentes espumantes especiales llamados concentrados tipo alcohol. Estos concentrados resistentes al alcohol tienen composiciones diferentes; algunos contienen básicamente proteína o fluoroproteína o un concentrado de espuma formadora de película acuosa. Los más comunes se describen como un concentrado polimérico AFFF resistente al alcohol para producir espuma que se aplique a hidrocarburos o líquidos inflamables del tipo polar, mediante cualquier dispositivo de aplicación de espuma. Presentan características de AFFF sobre hidrocarburos y producen gran cantidad de gel flotante que desarrolla espuma sobre combustibles hidromiscibles.

Las temperaturas de empleo normal para cualquiera de los agentes de tipo alcohol van de $1,7$ a $49\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.7) Agentes Espumantes de Alta y Media Expansión

Las espumas de alta y media expansión sirven para dominar y extinguir fuegos de Clase A y algunos de Clase B y son especialmente aptas para producir inundaciones en espacios cerrados. La espuma es un agregado de burbujas de protección mecánica generado por aspiración o mediante un ventilador que fuerza el paso de aire u otros gases a través de una red o pantalla u otro medio poroso, que están mojados con la solución acuosa de los agentes espumantes de actividad superficial. En condiciones adecuadas, se pueden generar espumas contra incendios con índices de expansión desde 20 a 1 hasta 1.000 a 1.

La espuma de media o alta expansión constituye un vehículo muy valioso para el transporte de masas de espuma húmeda a lugares inaccesibles, para la inundación total de espacios cerrados y para el desplazamiento volumétrico de vapores, calor y humo. Las pruebas han demostrado que, en ciertas condiciones, la espuma de alta expansión, cuando se emplea en combinación con agua procedente de rociadores automáticos, proporciona una capacidad de dominio y extinción de fuegos mayor que cualquier otro agente extintor por sí solo. La eficacia óptima frente a cualquier tipo de riesgo depende de la velocidad de aplicación, de la expansión de la espuma y de su estabilidad.



Los concentrados líquidos para la producción de espumas de alta expansión consisten en hidrocarburos sintéticos tensioactivos de un tipo que pueda formar espumas copiosas con muy pequeña producción de turbulencia. La espuma de media expansión se puede producir a partir de soluciones de concentrados fluoroproteínicos, proteínicos o AFFF con una proporción del tres o el seis por ciento.

Las espumas de alta y media expansión son especialmente aptas para combatir incendios en interiores y espacios cerrados. Su empleo al exterior puede verse limitado por los efectos climáticos. Las espumas de alta y media expansión causan en el fuego diferentes efectos:

- a) Cuando se generan en volumen suficiente, pueden impedir que el aire, que es necesario para la continuidad de la combustión, alcance el lugar incendiado.
- b) Cuando se lanzan directamente contra la zona donde existe mayor acumulación de calor, el agua que contiene la espuma se convierte en vapor, reduciendo la concentración de oxígeno por dilución del aire.
- c) La conversión del agua en vapor absorbe calor del fuego. Cualquier objeto caliente expuesto a la acción de la espuma mantiene el proceso de disolución de las burbujas, convirtiendo el agua en vapor y, por lo tanto, causando enfriamiento.
- d) Debido a su tensión superficial relativamente baja, parte de la espuma que no se convierte en vapor tiende a penetrar en los materiales de Clase A. Sin embargo, los fuegos profundos requerirán para su extinción el desmantelamiento de los materiales incendiados.
- e) Cuando se acumulan en profundidad, las espumas de alta expansión forman una barrera aislante para la protección de materiales expuestos no atacados por el fuego, impidiendo por la tanto la propagación.

La investigación ha demostrado que el empleo del aire que se encuentra dentro de un espacio incendiado, para la generación de espumas de alta expansión, tiene efectos adversos sobre el volumen y estabilidad de la espuma que se produzca. Los productos de la combustión y de la pirólisis pueden reducir el volumen de espuma producido y aumenta la dosis de pérdida de líquido al reaccionar químicamente con el agente espumante. La alta temperatura del aire rompe la espuma mientras se genera. También aparece la rotura física de la espuma aparentemente causada por el vapor y las partículas sólidas del proceso de combustión. Estos factores, que causan la rotura de las burbujas de la espuma, pueden compensarse generándola a velocidades mayores.

No se debe intentar la entrada a pasajes rellenos de espuma sin aparatos respiratorios de aire. La masa de espuma también reduce la visión y el oído, debiéndose utilizarse cuerdas de seguridad por el personal que deba entrar en la zona repleta de espuma.

2.8) Agentes y Polvos Espumantes Químicos

Han quedado obsoletos debido al menor costo y mayor facilidad de mantenimiento de los concentrados líquidos espumantes. La espuma química se forma mediante una reacción química en una solución acuosa, entre sulfato de aluminio (ácido) y bicarbonato de sódico (base), que también contienen estabilizadores de espuma. La espuma se forma por la generación de gas CO_2 que queda atrapado en las burbujas de la solución espumante.

3) DIRECTRICES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS MEDIANTE ESPUMA

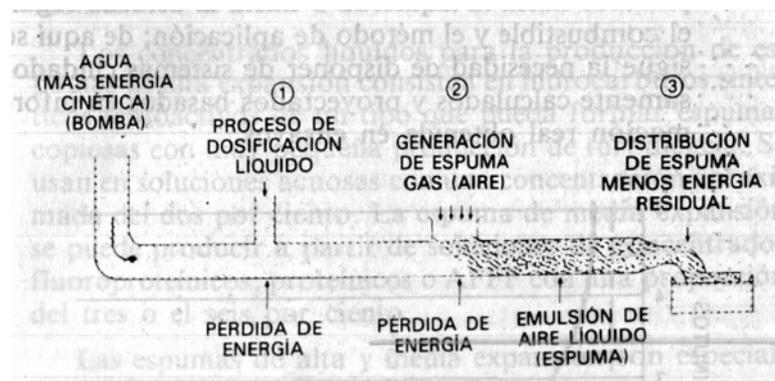
En la aplicación y empleo de espumas de aire ordinarias se aplican las siguientes reglas generales:

- 1- Cuanto más suavemente se aplique la espuma, más rápida será la extinción y menos la cantidad total de agente necesario.
- 2- La utilización con éxito de la espuma depende de la dosis que se aplique. La dosis de aplicación se definen en términos de cantidad de solución espumante que llega a la superficie combustible en términos de superficie total cada minuto. El aumento de la dosis de aplicación por encima del mínimo recomendado reduce generalmente el tiempo necesario para la extinción. Sin embargo, se obtiene poca ventaja con el aumento de dosis de aplicación superiores a tres veces el mínimo recomendado. Si la dosis de aplicación son inferiores al mínimo recomendado, se prolongará el tiempo necesario para la extinción, la cual podría incluso no conseguirse. Si las dosis de aplicación son tan lentas que el límite de pérdida de espuma por la acción del calor o por el ataque del combustible iguala o excede la dosis de aplicación de la espuma, no se podrá dominar y extinguir el fuego.

4) MÉTODOS DE GENERACIÓN DE ESPUMAS

El proceso de la producción y aplicación de espumas de aire contra incendios requiere tres operaciones distintas, cada una de las cuales consume energía. Son: (1) el proceso de dosificación; (2) la fase de generación de espuma; y (3) el método de distribución. La fig. siguiente es un diagrama que ilustra la forma que fluye el líquido y la relación entre las tres fases para la formación de espuma.

En general, las funciones de generación de espuma de aire y de distribución suceden simultáneamente dentro del mismo aparato. Existen muchos tipos de equipos para la dosificación y generación de espumas.

**4.1) Dosificadores de Concentrados Espumantes**

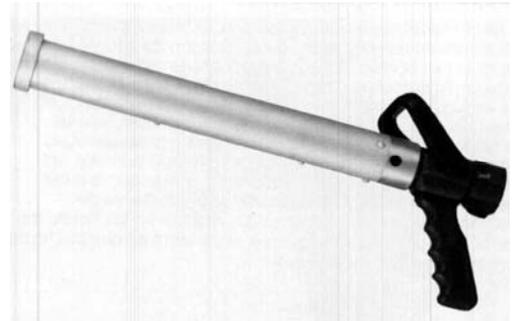
Tiene suma importancia conseguir que la dosificación del concentrado sea proporcional al caudal de agua. La composición del concentrado y los equipos de dosificación y de descarga deben estar mutuamente ajustados para lograr una solución de la concentración más conveniente, cualquiera que sea la presión nominal de servicio. Si la dosificación es baja, resultará espuma floja e inestable; si es demasiado alta, la espuma será rígida y se desperdiciará concentrado, con la consiguiente pérdida de eficacia y de tiempo de trabajo.

Para que se pueda tomar una cantidad determinada de concentrado espumante líquido e introducirlo en la corriente de agua para formar una solución de concentración fija, existen métodos que pueden clasificarse en dos grupos generales:

- Métodos que se valen de la energía de presión de la corriente de agua por efecto Venturi a través de unos orificios por donde se introduce el concentrado.
- Métodos que se valen de bombas auxiliares a presión de caída para inyectar el concentrado en la corriente de agua en una proporción fija respecto al caudal.

4.2) Eductor de Lanza

Este tipo de dosificador de concentrado espumígeno es de construcción muy simple y se emplea extensamente en lanzas portátiles generadoras de espuma. El concentrado se encuentra en tambores de 200 litros o bidones de 20 litros. La lanza tiene incorporado un tubo Venturi donde se genera la espuma, aspirando el concentrado de l envase portátil. Por medio de una serie de orificios ubicados en la zona de baja presión, el concentrado se mezcla en proporción correcta para un caudal dado y a la presión de trabajo de la lanza.



4.3) Inductor en Línea

Este tipo de dosificador extrae el concentrado espumante de un recipiente o depósito por efecto Venturi, utilizando la presión de trabajo de la corriente de agua que pasa por la manguera en que está instalado. A continuación inyecta el concentrado espumante en la corriente de agua. Su funcionamiento correcto es muy sensible a las presiones y corrientes de agua. Los cambios de cualquiera de estos factores sobre los que está calculado el inductor producen una dosificación incorrecta. Las distancias de más de 1,8 metros de elevación del inductor respecto al nivel mínimo de líquido del recipiente de concentrado espumígeno producen asimismo una dosificación incorrecta. El dosificador puede colocarse en un punto de la línea de manguera que conduzca al aparato generador de espuma. También puede instalarse un inductor de este tipo en el depósito del concentrado espumante en los sistemas fijos.

4.4) Dosificador Alrededor de la Bomba

Este tipo de dosificador también funciona según el principio de Venturi excepto en que debe situarse en la bomba y se conecta a ambos extremos de la misma, el de aspiración y el de impulsión. La ventaja de este sistema es que se logra recuperar la presión perdida por el efecto Venturi y que no hay que compensar las presiones de alimentación de la bomba al aparato generador de espuma situado corriente abajo, con la excepción de las pérdidas que se produzcan por la longitud de la manguera.

Una pequeña parte de la descarga de la bomba corre por una desviación hasta el lado de la bomba. Un aspirador de Venturi situado en esta línea produce una presión negativa con la recogida del concentrado espumígeno procedente del recipiente. El concentrado espumígeno es llevado hasta el punto donde se mezcla con el agua y pasa al extremo aspirante de la bomba. Este tipo de dosificador permite alimentar varios generadores de espuma.

4.5) Dosificador de Bomba y Motor

Consta de dos bombas rotativas de desplazamiento positivo montadas en un eje común. El agua que pasa por la bomba mayor (motor) pone en movimiento a la menor, que se emplea para extraer el concentrado de un recipiente y llevarlo (a la presión de la línea) a la línea de descarga de agua procedente de la bomba mayor. Este sistema dosifica el volumen exacto de concentrado a la corriente de agua.

5) AGENTES COMBINADOS O EQUIPOS GEMELOS

Está comprobada la superior capacidad del polvo seco (especialmente los tipos de sales de potasio Purple-K) para dominar rápidamente las llamas y para la extinción de incendios tridimensionales de líquidos combustibles corrientes. También es bien conocida su insuficiencia para impedir la reignición de las superficies combustibles ya aparentemente extinguidas. Con los concentrados de espuma compatibles seco, es posible aplicar un revestimiento de espuma de seguridad de vapor sobre una superficie de combustible en ignición que haya sido recientemente extinguida por la acción química de descargas de productos químicos secos.

La consecuencia lógica de lo anterior ha sido la producción de aparatos portátiles móviles para un solo hombre con lanzas dobles accionadas con válvulas de gatillo y lanzas monitoras que descargan AFFF y polvo seco unidas para un funcionamiento y control coordinados (gemelos).

El ataque con este aparato combinado permite la extinción de líquidos inflamables con velocidad y, al mismo tiempo, evitando la reignición.

El enorme poder extintor del sistema de agente doble lo hace apropiado para muchos tipos de riesgos. Estos riesgos incluyen, pero no se limita a:

- Incendios causados por derrames de líquidos inflamables
- Incendios causados por derrames de líquidos inflamables con fuente de combustible incendiado
- Incendios de grasas y aceites
- Incendios de naves aéreas
- Incendios de vehículos
- Incendios de gas licuado de petróleo y gas natural
- Incendios de gases presurizados (uso sólo del agente químico seco)
- Incendios con equipos energizados (uso sólo del agente químico seco)

LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES

1) RIESGOS DE LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES

No son los líquidos inflamables y combustibles los que arden o explotan, sino los vapores inflamables procedentes de su evaporación cuando su temperatura se eleva por encima del punto de inflamación al quedar expuestos a una fuente de ignición, tal como una chispa. Como, por definición, la mayoría de los líquidos inflamables se almacenan y se manipulan normalmente por encima de su punto de inflamación, continuamente están produciendo vapores que, mezclados con el aire, pueden ser inflamables.

Se produce una mezcla inflamable cuando la concentración de vapor en el aire llega a una determinada proporción, conocida generalmente como límite de inflamabilidad (o explosividad). El límite inferior de esta escala se conoce como punto inferior de inflamación. El límite superior de esta escala es conocido como punto superior de inflamación.

Las explosiones de las mezclas de aire con vapor inflamable en las proximidades del límite inferior o superior de inflamabilidad son menos intensas que las que se generan con concentraciones intermedias de la misma mezcla. Donde con mayor frecuencia se producen explosiones es en espacios cerrados, tales como contenedores, tanques, habitaciones o edificios. La violencia de las explosiones de vapores inflamables depende de la naturaleza de los vapores, de la cantidad de mezcla, de la concentración de la misma y del tipo de confinamiento.

El punto de inflamación no es el único factor en que debe basarse la evaluación del riesgo, aunque también influyen: la temperatura de ignición; límites de inflamabilidad; índice de evaporación; reactividad en estado impuro o expuesto al calor; densidad e índice de difusión y otros factores.

2) PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES

En los líquidos las moléculas se mueven libremente entre ellas pero no tienden a separarse como ocurre en los gases. Al contrario de los gases, los líquidos son sólo ligeramente comprensibles e incapaces de expandirse indefinidamente. Difieren también de los sólidos en la facilidad con la que sus moléculas se adaptan a la forma del recipiente que les contiene. Sin embargo, algunos líquidos son tan viscosos que es difícil de establecer una diferencia clara con los sólidos. Los materiales se presentan en ambos estados, líquidos y sólidos, dependiendo de la presión y temperatura. Los líquidos tienden a transformarse en gases a medida que aumentan sus temperaturas o disminuyen sus presiones. Por otro lado, los gases tienden a pasar a líquidos al disminuir sus temperaturas o aumentar sus presiones. No obstante, por encima de la denominada temperatura crítica (propiedad intrínseca del material), un material sólo puede presentarse en estado gaseoso, independientemente de su presión. En todos los casos, el estado real de un líquido viene determinado por la combinación de su temperatura y presión.

4.1) Densidad Relativa

Puesto que la densidad del agua es igual a la unidad, un líquido con una densidad relativa menor que uno flotará en el agua (a menos que sea soluble). Una densidad relativa superior a uno significa que el agua flotará sobre el líquido. Este factor es de relevante importancia en la lucha contra incendios de líquidos inflamables y combustibles.

4.2) Densidad de vapor (ρ)

Se denomina densidad de vapor al peso por unidad de volumen de un gas o vapor puro. En protección contra incendios, la densidad de vapor se expresa como relación entre el peso de un volumen de vapor y el peso de un volumen de vapor y el peso de un volumen equivalente de aire, en las mismas condiciones de presión y temperatura. En este aspecto, la densidad relativa de un líquido, excepto en que se utiliza el aire como referencia en vez del agua. El aire se toma como unidad y la densidad del vapor se refieren a él. Una densidad de vapor de 3 (3:1) significa que el vapor es tres veces más denso o pesado que el aire.

$$\rho = \frac{\text{Peso molecular (PM) del vapor}}{\text{Peso molecular del aire}} = \frac{PM}{29}$$

Las densidades de vapor se dan en condiciones de equilibrio de temperatura y presión atmosférica. Si varían dichas condiciones, cambiará sustancialmente, para cualquier vapor, la densidad del mismo.

Generalmente, las densidades de vapor se emplean como índice de la tendencia del vapor a elevarse o asentarse.

4.3) Presión de vapor

En un líquido contenido en un recipiente cerrado con una mezcla de vapor y aire por encima de su superficie, el porcentaje de vapor en la mezcla puede determinarse mediante su presión de vapor. Dicho porcentaje es directamente proporcional a la relación que existe entre la presión de vapor del líquido y la presión total de la mezcla. Por ejemplo, la acetona a 38°C tiene una presión de vapor de 52 kPa. Suponiendo una presión total de 101 kPa, la proporción de vapor de acetona presente será 52 dividido 101, es decir, el 52%. Si se conoce el punto de inflamación de un líquido en vaso cerrado y la presión de vapor a la temperatura de inflamación, el límite inferior de inflamabilidad (LII) para el vapor, en porcentaje en volumen a presión atmosférica, puede obtenerse de la forma siguiente:

$$LII = \frac{V}{1,01}$$

donde:

LII: porcentaje de vapor en volumen en su límite inferior de inflamabilidad y V es la presión de vapor en kPa a la temperatura de inflamación.

4.4) Índice de Evaporación

El índice de evaporación es la velocidad a que un líquido pasa a estado de gas o vapor a una temperatura y presión dadas. Todos los materiales se evaporan, pero lo importante para la protección contra incendios es la diferente velocidad de evaporación de las mezclas. En general, al disminuir el punto de ebullición, la presión de vapor y el índice de evaporación aumentan.

4.5) Viscosidad

La viscosidad de un líquido es la medida de su resistencia a la fluencia, que resulta de la combinación de efectos de adhesión y cohesión; o dicho de otra manera, es la medida de la fricción interna de un fluido.

4.6) Calor Latente de Vaporización

El calor latente de vaporización es la cantidad de calor que se absorbe cuando un gramo de líquido se transforma en vapor a la temperatura de ebullición y a una atmósfera de presión; se expresa en calorías por gramo (cal/gr).

4.7) Solubilidad en Agua y Tensión Superficial

La solubilidad en agua y la tensión superficial son otras características de los líquidos, que tienen interés en el campo de la protección contra incendios. Los fuegos de líquidos solubles en agua pueden extinguirse diluyendo el líquido en agua. El empleo de agentes humectantes afecta a la tensión superficial de un líquido y en algunos casos ayuda a la extinción del fuego.

3) CARACTERÍSTICAS DE LA COMBUSTIÓN DE LOS LÍQUIDOS

En realidad, cuando los líquidos inflamables arden, lo que realmente arde son sus vapores; por lo tanto, la facilidad de ignición de estos líquidos, así como su velocidad de combustión, está relacionados con sus propiedades de presión de vapor, punto de inflamación y de ebullición e índice de evaporación. Los líquidos cuyos vapores estén dentro de sus límites de inflamabilidad por encima de su superficie a la temperatura de almacenamiento, tendrán una rápida velocidad de propagación de las llamas. Los líquidos inflamables y combustibles cuyos puntos de inflamación sean superiores a la temperatura de su almacenamiento tendrán una velocidad de propagación de las llamas más baja, puesto que es necesario que el calor producido por el fuego caliente suficientemente la superficie del líquido para que se forme una mezcla vapor-aire inflamable antes de que las llamas se extiendan a través del vapor. Hay muchos factores variables que afectan a la velocidad de propagación de las llamas y a la combustión. Entre tales factores hay que incluir los ambientales, la velocidad del viento, la temperatura, el calor de combustión, el calor latente de vaporización y la presión barométrica.

Normalmente, los hidrocarburos líquidos arden con una llama naranja y emitiendo densas nubes de humo negro. Los alcoholes arden normalmente con una llama limpia de color azul y con muy poco humo. Ciertos terpenos y éteres arden con una considerable ebullición de la superficie del líquido, lo que hace muy difícil su extinción.

5.1) Derrames en depósitos

Existen tres situaciones específicas que merecen mención especial respecto a los fuegos en depósitos abiertos que contienen distintos tipos de aceites: derrame por ebullición, derrame superficial y derrame por espumación.

5.1.1) Derrame por ebullición (Boilover)

Este término sirve para describir un fenómeno que puede producirse espontáneamente durante el incendio de un depósito abierto que contenga ciertos tipos de aceites minerales crudos. Así sucede, por ejemplo, cuando el techo del depósito ha sido volado por una explosión, generalmente causada por un rayo. Después de un largo período de combustión tranquila se produce un súbito rebosamiento o eyección de una parte de los crudos residuales que contiene el depósito, cuya causa es la ebullición del agua, que forma una espuma de petróleo y vapor que se expande rápidamente. La espumación producida es consecuencia de la presencia de las tres condiciones siguientes, que deben existir simultáneamente para que tenga lugar dicho fenómeno.

- El depósito debe contener agua libre o una emulsión de agua y aceite mineral en el fondo. Esta circunstancia es normal en los depósitos de aceite crudo.
- El aceite mineral debe contener componentes cuyos puntos de ebullición sean muy dispares, de modo que cuando los más ligeros hayan desaparecido por destilación y combustión, el residuo superficial, a una temperatura de 149 °C o más, sea más denso que el aceite en que sobrenada. Naturalmente, este residuo se hunde por debajo de la superficie y forma una capa, cuyo espesor aumenta gradualmente, que desciende a una velocidad bastante mayor que la velocidad de regresión de la superficie en combustión. Así se inicia la llamada "onda de calor", resultando del asentamiento local de una parte del aceite superficial caliente hasta que alcanza el aceite más frío que está por debajo. Este fenómeno no debe confundirse con el de conducción de calor de la superficie hacia debajo.
- El aceite debe contener una cantidad suficiente de productos pesados para que se pueda formar una espuma persistente de aceite y vapor.

El incendio de un depósito con mayor número de víctimas mortales en toda la historia ocurrió el 19 de diciembre de 1982 en Tocoa (Venezuela). El tanque de almacenamiento, situado unas pocas millas al noroeste de Caracas en el pueblito costero de Tocoa, suministraba combustible a una central de energía que abastecía de electricidad a la ciudad de Caracas. Cuando se produjo la ignición del tanque murieron dos trabajadores. Después de 6 horas de intenso fuego, se produjo un derrame extremadamente violento. Más de 150 personas resultaron muertas, una cifra superior de heridos, varios desaparecidos y 50 millones de dólares en pérdida. Cuarenta de las víctimas eran bomberos.

5.1.2) Derrame Superficial (Sloper)

Este derrame puede producirse cuando se aplica un chorro de agua a la superficie caliente del aceite incendiado, siempre y cuando el aceite sea viscoso y su temperatura supere la del punto de ebullición del agua. Puesto que en este fenómeno solamente participa el aceite superficial, el suceso es de importancia relativa.

5.1.3) Derrame por Espumación (Frothover)

Se produce en recipientes que contienen aceites minerales viscosos a altas temperaturas, pero no inflamados, cuando el agua situada bajo la superficie entra en ebullición. Un ejemplo típico puede ser el del asfalto caliente cuando se carga en una cisterna que contiene algo de agua.

El primer asfalto se enfría al contacto con el metal frío; al principio no sucede nada, pero cuando el agua se calienta y comienza a hervir, el asfalto rebosa por encima de la cisterna.

Puede producirse una situación similar cuando un depósito que contiene agua en el fondo (o una emulsión acuosa) recibe una carga de aceites minerales residuales de baja calidad a temperaturas inferiores a los 93 °C y más tarde una carga importante de residuos calientes a temperaturas de 149 °C o más. Cuando ha transcurrido suficiente tiempo para que los residuos calientes alcancen al agua en el fondo, puede producirse una ebullición prolongada del agua, que llega a hacer saltar la tapa del depósito y esparcir una espuma aceitosa en una superficie bastante extensa.

LOS GASES INFLAMABLES

1) RIESGOS PRINCIPALES DE LOS GASES

Para la valoración sistemática de los riesgos que presentan los gases, es útil distinguir entre los riesgos de los gases encerrados en un recipiente y los presentados por los escapes del gas del recipiente, aunque los dos puedan tener lugar simultáneamente en un solo incidente.

4.1) Riesgos del Gas en un Recipiente

Los gases se expanden cuando se calienta, incrementando la presión sobre el recipiente, lo que puede provocar el escape del gas, la rotura del recipiente o ambos fenómenos. Además, los contenedores pueden fallar durante el incendio. El calentamiento afecta de forma distinta a los gases comprimidos y licuados.

Un gas comprimido (sólo en estado gaseoso) tiende simplemente a expandirse, siguiendo las leyes clásicas del comportamiento de los gases. Ningún gas sigue exactamente estas leyes, pero las de Boyle y Charles son suficientemente precisas para predecir el comportamiento de los gases comprimidos en condiciones normales.

a) Ley de Boyle

La ley de Boyle establece que el volumen ocupado por una masa de gas dada varía inversamente con la presión absoluta si la temperatura no cambia, es decir:

$$PV = \text{constante}$$

b) Ley de Charles

La ley de Charles establece que el volumen de una masa de gas dada es directamente proporcional a la temperatura absoluta, si la presión se mantiene constante. Es decir:

$$\frac{V}{T} = \text{constante}$$

Los gases licuados, incluyendo los criogénicos (que están parcialmente en estado líquido), tienen un comportamiento bastante más complicado, puesto que el resultado final de un calentamiento es el resultado neto de la combinación de tres efectos. Primero, la fase gaseosa está sujeta a los mismos efectos de los gases comprimidos. Segundo, el líquido tiende a dilatarse comprimiendo más vapor. Finalmente, la presión del vapor del líquido aumenta al aumentar la temperatura de éste. Estos tres efectos se combinan dando por resultado un aumento de presión cuando se calienta el recipiente.

Puede producirse un aumento de presión mucho más grave si la dilatación del líquido hace que el recipiente quede totalmente lleno de líquido (condensación de la fase gaseosa); si esto sucede, cualquier pequeña cantidad de calor adicional producirá un aumento enorme de la presión. Por ello, es de suma importancia no introducir mayor cantidad de gas licuado en fase líquida de la que puede contener el recipiente, dejando una cámara de gas si se espera que la temperatura del líquido aumente a un nivel proporcional al de la temperatura ambiente.

Los recipientes de gases comprimidos o licuados pueden presentar altos niveles de escape potencial de energía debido a la concentración de la materia por compresión o licuación. La rotura de un recipiente libera esta energía (a menudo con extrema rapidez y violencia) con la fuga simultánea del gas por el área circundante y la propulsión del recipiente o de sus piezas. Las roturas de recipientes de gases comprimidos se distinguen más por su efecto de "misil" que por la cantidad de gas que se libera, ya que contienen menos que los otros. Las de los recipientes de gases licuados pueden permitir el escape de mayores cantidades de gas.

4.2) Dispositivos de Descarga de Sobrepresión

En la mayoría de los contenedores de gas comprimido o licuado, a fin de mantener la presión dentro de límites admisibles, se instalan válvulas de descarga de resorte y/o discos de ruptura, aunque en contenedores pequeños se emplean a veces tapones fusibles. Las presiones de tarado para la descarga están relacionadas con la resistencia del recipiente. La capacidad de descarga (caudal de salida a través de los dispositivos mencionados), en la mayoría de los casos, se determina en función de la tasa de absorción del calor, debido a la exposición al fuego, al ser esta generalmente la fuente dominante.

4.3) Combustión en el Interior del Recipiente

Un riesgo de los gases contenidos en un recipiente, menos frecuente pero no menos importante, es el de su rotura por el exceso de presión, debido a la combustión del gas en su interior. Muy rara vez se sirve una mezcla envasada de oxígeno o aire con otro gas, pero podría producirse accidentalmente. La mayor parte de estas explosiones tienen lugar durante la aplicación industrial o médica de los gases, puesto que en este tipo de actividades se emplea frecuentemente aire u oxígeno comprimido en combinación con otros gases inflamables. Siempre la posibilidad de estas mezclas sea inherente al proceso mismo, por ejemplo en los sistemas de corte por oxígeno y gas combustible, se toman medidas para impedir que se produzca en el interior de los recipientes. En términos más generales, este tipo de accidente puede impedirse solamente mediante la instrucción y el adiestramiento del personal en los procedimientos adecuados de llenado de los recipientes.

Otro caso donde se puede encontrar estos tipos de mezclas es en los tubos para calibración de equipos de medición de gases inflamables o explosivos.

4.4) Combustión al Escapar del Contenedor

Los riesgos que presentan los gases escapados de sus recipientes varían según sus propiedades químicas y físicas y la naturaleza del medio ambiente en que se escapan. Todos los gases, con la excepción del oxígeno y del aire, presentan un cierto riesgo para las personas, al desplazar el aire necesario para la respiración. Los gases inertes, incoloros e inodoros como nitrógeno, helio, argón y otros son especialmente peligrosos, ya que no se advierte su presencia. La concentración mínima de oxígeno en el aire para la supervivencia humana oscila entre 6 y 10% (la normal es de 21%) en volumen, pero incluso a concentraciones más altas, resultan afectados la coordinación muscular y los sentidos.

4.4.1) Gases Tóxicos o Venenosos

Los riesgos que presentan este tipo de gases son evidentes. Son especialmente peligrosos cuando se desprenden en el transcurso de un incendio, ya que pueden impedir los esfuerzos para combatirlos, no permitiendo o retrasando el acceso de los bomberos al siniestro.

4.4.2) Oxígeno y Otros Gases Oxidantes

Aunque no son inflamables, estos gases pueden hacer que otras materias entren en ignición a temperaturas más bajas; pueden acelerar la combustión o hacer que se inicie un incendio al facilitar la propagación de las llamas procedentes de aparatos que quemem combustibles, más allá de las cámaras de combustión.

4.4.3) Gases Licuados, incluidos los Criogénicos

Estos gases presentan un riesgo para personas y bienes si se escapan en forma de líquido, debido a sus bajas temperaturas. El contacto con estos líquidos fríos puede causar congelaciones, que pueden ser muy graves si la exposición se prolonga. Las propiedades de muchos materiales de construcción y estructurales, particularmente los plásticos y el acero al carbono, se ven afectados por las bajas temperaturas; generalmente se hacen quebradizos y pueden provocar un fallo estructural.

4.4.4) Gases Inflamables

Debido a su abundancia, el comportamiento de los gases inflamables escapados de sus envases es del máximo interés. Presentando dos clases de riesgos fundamentales: (1) explosiones por combustión y (2) incendios. La confusión en la diferenciación entre estos dos fenómenos puede dar como resultado la mala aplicación de las medidas protectoras o preventivas.

a) Explosiones por Combustión

Las explosiones por combustión pueden producirse en el siguiente orden:

- El gas inflamado o la fase líquida de un gas inflamable licuado se escapa de su recipiente, tubería o pieza de maquinaria (este escape también puede deberse al normal funcionamiento de un dispositivo de alivio de exceso de presión). Al escapar, el líquido se evapora rápidamente y produce las grandes cantidades de vapores características de la transición de líquido a vapor.
- El gas se mezcla con el aire.
- En ciertas proporciones de gas y aire la mezcla es inflamable y arde.
- La mezcla inflamable, una vez que ha entrado en ignición, arde rápidamente y produce grandes cantidades de calor.
- El calor producido es absorbido por todo objeto próximo a la llama o a los productos gaseosos de la combustión que están a altas temperaturas.
- Casi todas las materias se dilatan cuando absorben calor. La materia que más se expande en la cercanía de una llama o de los productos gaseosos de la combustión a altas temperaturas es el aire. El aire se dilata el doble de su volumen por cada 237°C de aumento de temperatura.

- Si el aire no puede expandirse debido, por ejemplo, a estar encerrado en una habitación o espacio confinado, el resultado es el aumento de presión en el interior del mismo.
- Si la estructura de la habitación o espacio no es lo suficientemente fuerte como para resistir esta presión, algunos de sus elementos cederán de forma rápida y brusca, desplazándose de su posición original, con un ruido violento y estruendoso. Esta actividad describe, en parte, una explosión.

Como el origen de la presión es una combustión, este tipo de explosión se llama explosión por combustión. También se le llama de habitación, explosión de vapor-aire y otros términos menos exactos. La explosión por combustión necesita la acumulación de una cierta cantidad de mezcla inflamable de gas y aire en un espacio cerrado. Además, la relación entre la cantidad de la mezcla y la resistencia de cierta parte de la estructura se vea superada por el potencial de generación de presión de la mezcla. Si el espacio cerrado tuviera suficiente resistencia para soportar la presión, no podría ocurrir la explosión, porque lo que determina básicamente que la explosión pueda ocurrir o no, es, precisamente, el comportamiento del espacio cerrado. Sin embargo, hay pocas estructuras que puedan resistir semejante presión.

Si un recinto cerrado se llenase de una mezcla de gas inflamable y aire a presión atmosférica, tendría que resistir una presión de 400 a 750 kPa para permanecer intacto e impedir que se produzca una explosión por combustión. Las estructuras convencionales resisten presiones de sólo 3,5 a 7 kPa. Esta gran disparidad de presiones demuestra indudablemente que dichas estructuras resultan vulnerables, incluso sin estar llenas de mezclas de aire y gases inflamables. La experiencia corrobora esta conclusión y se estima que la mayor parte de las explosiones por combustión en el interior de estructuras convencionales se producen con menos del 25% del recinto ocupado por una mezcla inflamable.

La mecánica de la acumulación de gas en el interior de una estructura está afectada por la velocidad de liberación de dicho gas, tanto si está en su fase líquida como gaseosa, por su densidad y por la ventilación de la estructura.

Como consecuencia de la capacidad de los gases licuados para producir rápidamente grandes cantidades de mezcla de aire y gas inflamable, los códigos y normas vigentes imponen serias limitaciones a la manipulación de tal tipo de gases en interiores. Considerando el aspecto de la "bola de fuego" de una BLEVE, es evidente que una bola de fuego que surge en un interior se comporta de la misma manera que una acumulación de mezcla de gas y aire que entra en ignición, de modo que los resultados de la BLEVE de un recipiente situado en el interior de una estructura pueden ser muy similares a una explosión por combustión.

b) Protección Contra la Explosión por Combustión

Las medidas de prevención básicas contra las explosiones por combustión se dirigen a limitar la acumulación de mezclas de aire y gas inflamable en el interior de los edificios. Es fundamental reducir al mínimo las posibilidades de escapes, empleando recipientes y maquinaria de sólida y robusta construcción, y limitar al máximo la emisión de cantidades de gas mediante utilización de dispositivos de emergencia de control de flujos, reduciendo, al mismo tiempo, el número y dimensiones de los orificios. Muchos tipos de quemadores están provistos de dispositivos que cierran el paso del gas en el momento en que la llama se extingue por cualquier razón.

Muchos gases son incoloros e inodoros, por lo que es corriente conferirles un olor fuerte para facilitar la detección de fugas. Lo anterior se refiere principalmente al gas natural y a los gases licuados de petróleo. Los códigos, normas y reglamentos acostumbran a exigir que estos

gases tengan olor, de modo que puedan ser detectados por una persona normal en una concentración gaseosa en el aire que no exceda de una quinta parte de su límite inferior de inflamabilidad. Los odorantes son generalmente líquidos orgánicos, que son los que producen el característico olor a gas.

Aunque la odorización sea una medida efectiva tiene sus limitaciones. El mecanismo detector (el olfato) no siempre está presente, por ejemplo, cuando el local está vacío o sus componentes dormidos. Ciertos terrenos filtran los odorantes del gas cuando el escape se produce en una tubería subterránea.

Como añadidura a los métodos de prevención de las explosiones por combustión antes expuestos, también puede reducirse la gravedad de las explosiones una vez que éstas han sucedido, con un diseño especial de las estructuras, que permita que algunos de sus elementos se deforman a presiones menores, mientras los demás permanecen en su lugar. Esto se llama "desahogo o liberación de la explosión". Este tipo de diseño de edificios no es práctico para la mayor parte de los edificios ordinarios, por lo que está restringido casi exclusivamente a ciertas estructuras de tipo industrial.

c) Incendios de Gases Industriales

Los incendios de gases inflamables pueden considerarse como una explosión abortada, en la que no se acumula suficiente cantidad de la mezcla aire y gas inflamable porque entra en ignición prematuramente o porque no se encuentra confinada en un espacio cerrado. Como es lógico esperar, el resultado habitual de un escape de gas inflamable al exterior es un incendio. Sin embargo, si se produjera un escape masivo, es posible que los edificios circundantes, o el mismo aire, proporcionarían suficiente efecto de confinamiento como para que tuviera lugar lo que se llama frecuentemente "explosión al aire libre". Los gases licuados no criogénicos son capaces de producir este fenómeno, así como también el hidrógeno, el etileno y algunos gases reactivos, debido a su altísima velocidad de propagación de las llamas. Un ejemplo de la provisión intencionada de una rápida ignición para conseguir que se produzca un fuego en vez de una explosión es el empleo de pilotos en el equipo de quema de gases, tales como cocinas, hornos, calentadores de agua, calderas y demás.

4.5) Control de Gases en Casos de Emergencias

Las situaciones controlables de emergencias que presenta la fuga de gases desde recipientes o depósitos ofrecen dos tipos de peligros: (1) los escapes de gases tóxicos, inertes u oxidantes pueden amenazar la integridad de las personas o de los bienes, o las fugas de gases inflamables que no hayan entrado en ignición presentan el riesgo de que alguna circunstancia la provoque, posiblemente en forma explosiva. Estas se llaman emergencias "sin incendio"; (2) los incendios de gas pueden presentar riesgos térmicos para las personas o las propiedades, se llaman emergencias "con incendio". Si, además, tales fuegos amenazan a los recipientes del gas, introducen la posibilidad de rotura de los mismos y de que se produzca una BLEVE. El riesgo de roturas de recipientes por su exposición al fuego también está presente cuando se incendia cualquier otro material combustible.

4.5.1) Control de Emergencias Sin Incendio

Los escapes de gas se controlan, por lo general, dirigiéndolos, diluyéndolos y dispersándolos para impedir su contacto con las personas, evitar que penetren en los edificios si

la fuga estuviere en el exterior y eliminar las posibilidades de contacto con fuentes de ignición, mientras, simultáneamente y de ser posible, se trata de detener el flujo de gas en el punto de fuga. Para canalizar, diluir o dispersar el gas se necesita el empleo de algún fluido que pueda ser portador (los que tienen demostrada su eficacia son el aire, el agua y el vapor). El empleo de aire está prácticamente limitado a espacios interiores y no es sino una prolongación de las medidas de ventilación y desahogo contra las explosiones por combustión.

Las propiedades físicas del gas fugado influyen sobre las técnicas aplicadas para su control. Tratándose de gases comprimidos, la densidad es un factor importante. Cuando los gases que escapan son inodoros e incoloros, su control se complica porque será necesario emplear instrumentos para definir el alcance de la zona peligrosa.

Los gases licuados poseen un indicador de posición perfectamente visible e inherente a su naturaleza, porque el efecto refrigerante de su vaporización condensa el vapor de agua del aire y produce una niebla, que coincide aproximadamente con la zona afectada por el gas, aunque la mezcla de aire y gas inflamable se extiende frecuentemente algunos metros más allá de los bordes visibles de la niebla.

Como los gases licuados no criogénicos contienen cierta cantidad apreciable de calor para la vaporización, frecuentemente se evaporan tan rápidamente al contacto con el aire o con la tierra que no permanecen en fase líquida una vez que se escapan; por lo menos no en volumen suficiente como para formar charcos. Los gases licuados no criogénicos de menor presión de vapor, como el butano y el cloro, y aquellos que poseen altos calores latentes de vaporización, como el amoníaco, son excepciones a esta regla; incluso, los gases de alta presión de vapor, como el propano, pueden llegar a formar charcos si existen muy bajas temperaturas ambientales.

Los gases licuados criogénicos, por otra parte, deben obtener casi todo el calor necesario para su evolución del contacto con el aire o con el terreno y, por lo tanto, forman charcos característicos si la fuga es de duración continua. En tales casos, la aplicación de un fluido portante aumentará el índice de vaporización si se aplica directamente al líquido, lo que constituye un efecto generalmente no pretendido.

El gas que se produce en las proximidades del foco de evaporación de un gas licuado es siempre más pesado que el aire a temperaturas normales, debido a la baja temperatura acuosa que se forma por condensación, tiende a hacer que los gases, incluso aquellos que normalmente son más ligeros que el aire, se extiendan a bastante distancia a ras de tierra.

4.5.2) Control de Emergencias Con Incendio

Las emergencias "con incendios" se reducen generalmente disminuyendo la cantidad de calor producido por el fuego por medio de la aplicación de agua, mientras, de ser posible, se evita el escape de gas. Muchos incendios de gas pueden extinguirse por medio de agentes extintores convencionales entre los que se encuentran el dióxido de carbono, los polvos químicos secos y los agentes halogenados. Sin embargo, los bomberos deben tener en cuenta el peligro de la conversión de un incendio de gas en una explosión por combustión si el gas continúa escapándose después de su extinción.

2) GASES ESPECIALES

5.1) Acetileno

a) Clasificación: Reactivo, inflamable, comprimido, industrial.

- b) Propiedades Químicas:** El acetileno se compone de carbono e hidrógeno, con un enlace químico que es la causa de su reactividad. En estado líquido o sólido, o en el gaseoso a presiones altas o moderadas, el acetileno se descompone rápidamente, formando carbono e hidrógeno y produciendo calor, que puede iniciar la descomposición. La descomposición del acetileno líquido o sólido también puede iniciarse por impacto mecánico. En un espacio cerrado, los gases calientes resultantes de la descomposición pueden provocar un exceso de presión y la rotura del recipiente, de las tuberías o del equipo donde se encuentren.
- El acetileno reacciona con ciertos metales para producir carburos metálicos, compuestos explosivos muy sensibles al impacto y cuya detonación, incluso en pequeñas cantidades, puede iniciar un proceso de descomposición del acetileno. El cobre y algunas aleaciones de cobre destacan este respecto, por lo que se debe evitar su uso en la mayor parte de los equipos y tuberías destinadas a trabajar con acetileno. En cambio, pueden emplearse en algunos componentes de las instalaciones de acetileno si se tienen en cuenta las reacciones cinéticas existentes. Esto ocurre, por ejemplo, con las boquillas de los sopletes.
- El acetileno no es tóxico y se ha empleado a veces como anestésico. Puro, es inodoro, pero, en general, tiene un olor característico, debido a las pequeñas impurezas inherentes a los procesos de obtención a partir del carburo de calcio o de hidrocarburos.
- c) Propiedades Físicas:** Aunque el acetileno se considera como un gas comprimido, el recipiente para su transporte y almacenamiento no contiene exclusivamente acetileno en fase gaseosa, distinguiéndose por esta característica peculiar. Para asegurar su estabilidad en condiciones térmicas y de impacto razonablemente previsibles, las bombonas de acetileno están rellenas de una masa porosa formada de celdas o alvéolos muy pequeños, de modo que el volumen de gas comprimido en cada una de ellas sea muy pequeña. Así, se limita la energía disponible de descomposición y se restringe la comunicación entre espacios. Además, la masa está saturada de acetona, un líquido inflamable en el que el acetileno puede comprimirse en la disolución de un modo similar a como el dióxido de carbono lo hace en agua, para producir agua carbónica. Al reducirse la presión, es decir, al abrirse la válvula de la bombona, el gas se separa de la disolución, escapándose del recipiente en estado gaseoso. Por cada atmósfera de presión, la acetona disuelve alrededor de 25 veces su volumen de acetileno de forma que a 1.724 kPa (250 psi) disuelve 425 veces su volumen.
- d) Utilización:** El acetileno se emplea sobre todo en procesos industriales químicos y también como gas combustible en las operaciones de soldadura y corte.
- e) Riesgos en el Interior de los Recipientes:** El acetileno se transporta en bombonas o cilindros aprobados, como se describe anteriormente, y se almacena en ellos o en otros recipientes de gas a baja presión. Se maneja indistintamente con ayuda de mangueras flexibles o mediante sistema de tuberías rígidas.
- Los cilindros de acetileno están protegidos indirectamente contra exceso de presión por dispositivos sensibles al calor, generalmente obturadores fusibles. En oposición a las válvulas de alivio de resorte, el funcionamiento de los obturadores fusibles da como resultado la reducción total a la presión atmosférica al liberarse el gas comprimido y la acetona al mismo tiempo. Debido a esta forma de protección contra exceso de presión, los cilindros de acetileno no están sujetos al peligro de una BLEVE que, por definición, no puede ocurrir si el contenido líquido no está por encima de los puntos de ebullición a temperaturas y presión normales. Sin embargo, en condiciones de exposición al fuego o durante operaciones de carga de acetileno, han ocurrido descomposiciones internas que han ocasionado efectos propios de una BLEVE, tales como ruptura de la bombona y proyecciones de fragmentos acompañados de pequeñas bolas de fuego.

Como la susceptibilidad a la descomposición está relacionada directamente con la presión, es decir, que a mayor presión, mayor es la facilidad de iniciación de la descomposición y más violentos los efectos, se consigue un grado aceptable de estabilidad en la mayor parte de los sistemas de tuberías que contienen acetileno gaseoso mediante la simple limitación de la presión. En general, ésta no excede de 103 kPa (15 psi).

- f) **Riesgos de los Gases Fuera de Recipientes:** Cuando se escapa del recipiente, el acetileno presenta riesgos de explosión por combustión e incendio. Debido a su reactividad, es más fácil su ignición que la mayor parte de los gases inflamables, y arde más rápidamente. Este último efecto aumenta la gravedad de las explosiones por combustión y dificulta la posibilidad de desahogarlas; el acetileno es sólo un poco más ligero que el aire.
- g) **Control de Emergencias:** Debido a la limitada cantidad de acetileno que se transporta y almacena de manera convencional, raramente se producen emergencias "sin incendios". Los incendios que se producen se combaten de igual modo que los de cualquier gas inflamable y no tóxico, es decir, por aplicación de agua sobre los depósitos y, de ser posible, interrupción del escape de gas.
- h) **Riesgos de las Botellas de Acetileno Expuestas al Fuego:** Si hay botellas de acetileno expuestas a un fuego, hay que tomar precauciones especiales. En este caso, las válvulas de descompresión, de metal fusible, podrían funcionar cuando el metal llegara a unos 100°C. La naturaleza del acetileno supone riesgos que no se producen con otros gases. A temperaturas por encima de los 300°C, el acetileno se descompone en hidrógeno y carbono. Esto puede suponer un peligro si las botellas están expuestas al fuego y se calientan por encima de dicha temperatura. Cuando esto sucede, puede aumentar la presión dentro de las botellas y en algunos casos pueden explotar violentamente. La descomposición del acetileno puede ser tan rápida que la descompresión producida por las válvulas no siempre puede evitar la explosión. Esta puede sucederse pocos minutos o varias horas después de calentarse la botella. Cuando una parte de la botella de acetileno está expuesta al fuego y se calienta a más de 300°C, el acetileno empieza a descomponerse, liberando calor. Las botellas así expuestas se deben rociar con agua desde un lugar protegido y las personas no se deben acercar a una botella de acetileno que haya estado expuesta al fuego.

Un riesgo corriente de las botellas de acetileno es que, si se produce una pequeña fuga y arde, el resultado es una llama pequeña, pero que puede causar la fusión del metal fusible y producirse entonces una llama como la de un soplete, que puede llegar hasta los 3,5 metros de longitud. Esta llama repentina puede ser un peligro para las personas o para otras botellas de acetileno que pudieran haber alrededor.

5.2) Amoniaco Anhidro

- a) **Clasificación:** Inflamable, licuado (incluso criogénico), industrial.
- b) **Propiedades Químicas:** El amoniaco anhidro se compone de nitrógeno e hidrógeno. Aunque se le suele llamar simplemente amoniaco, este término se emplea más generalmente para referirse a una disolución de amoniaco anhidro con agua. El nitrógeno es inerte (incombustible) por sí mismo y por ello responsable de la relativamente limitada inflamabilidad del amoniaco anhidro, característica que se manifiesta en este producto por su elevado límite inferior de inflamabilidad y su bajo calor de combustión. El amoniaco húmedo ataca con fuerza al cobre, al zinc y a muchas de sus aleaciones como el latón y el bronce. Aunque es un gas relativamente poco tóxico, el olor característico y las propiedades irritantes del amoniaco anhidro son útiles como advertencia de su presencia; sin embargo, a eficacia de esta forma de alarma depende de la velocidad del escape, puesto que

CURSO AVANZADO DE PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

algunas veces se han formado rápidamente grandes nubes a partir de fugas importantes en las que algunas personas han quedado atrapadas y muerto antes de que se pudiera evacuar la zona.

- c) **Propiedades Físicas:** En su punto de ebullición normal, -33°C tiene una densidad de líquido de $682,4 \text{ kg/m}^3$, una densidad de gas de $0,88 \text{ kg/m}^3$ y un calor latente de vaporización de 1.371 kJ/kg . En condiciones TPN, el gas tiene una densidad de alrededor de $0,72 \text{ kg/m}^3$ y la vaporización de $0,027 \text{ m}^3$ de líquido produce aproximadamente 25 m^3 de gas.
- d) **Utilización:** El amoniaco anhidro se emplea fundamentalmente como fertilizante, refrigerante y como fuente de hidrógeno para la creación de atmósferas especiales en los tratamientos térmicos de metales y en la fabricación de semiconductores.
- e) **Riesgos de Gas en el Interior de Recipientes:** El amoniaco anhidro se transporta en cilindros, sobre camiones cisternas, vagones cisternas de ferrocarril o barcaza, y se almacena en cilindros o bombonas. Los recipientes de amoniaco anhidro con capacidad de 79 kg no requieren dispositivos de protección contra exceso de presión. Esto es una indicación de su toxicidad, que obliga a efectuar concesiones respecto a los riesgos de ruptura del recipiente por exceso de presión frente a los de emisión de gas por funcionamiento de tales dispositivos de protección, especialmente en lugares cerrados, donde suelen almacenarse los recipientes menores.

Una BLEVE de recipientes de amoniaco anhidro sin aislamiento es poco frecuente, lo que refleja la limitada inflamabilidad del gas, reduciéndose al mínimo la probabilidad de que sea éste el que origine el fuego. En las ocasiones en que se ha producido una BLEVE de amoniaco, el fuego ha procedido de otros combustibles.

- f) **Riesgos de los Gases Fuera del Recipiente:** Cuando el amoniaco anhidro se escapa de su recipiente presenta dos tipos de riesgos: explosión por combustión e incendio (aparte del riesgo de toxicidad). Sin embargo, su elevado límite inferior de inflamabilidad y su bajo calor de combustión reducen estos riesgos de manera sustancial.

Si el escape del amoniaco anhidro se produce en el exterior es muy difícil que alcance la concentración necesaria para rebasar su límite inferior de inflamabilidad (excepto en espacios reducidos en las cercanías inmediatas al punto de escape) a no ser que se derramen grandes cantidades de líquido. Incluso en este último caso, las concentraciones aptas para la ignición tienden a construir bolsas discontinuas, lo que, en unión de su bajo calor de combustión reduce la posibilidad de una combustión sostenida. La experiencia indica que estas mismas circunstancias aplicables cuando el escape tiene lugar en el interior de edificios dotados de una ventilación razonablemente buena. Sin embargo, en edificios muy cerrados, lo que se sale de lo común, como pueden ser los lugares donde se realizan procesos de refrigeración o algunas zonas de almacenamiento, el escape de líquidos o de grandes cantidades de gas puede dar por resultados su acumulación en cantidades que puede producir una explosión por combustión. En tales casos, aunque el bajo calor de combustión produce menores presiones que en la mayor parte de los gases inflamables, la presión puede ser suficiente para causar daños estructurales de cierta importancia. Como resultado de ello, los incendios de amoniaco anhidro son pocos frecuentes y cuando llega a producirse la ignición es más fácil la explosión por combustión que el incendio. De 36 casos ocurridos en los EE.UU. entre 1929 y 1969 en los que los escapes de gas o de líquido entraron en ignición, 28, es decir, el 78%, dieron por resultados una explosión por combustión. Todos ellos se produjeron en interiores.

- g) **Control de Emergencias:** A temperaturas normales, el peso del gas de amoniaco anhidro es de aproximadamente 0,6 veces el del aire. Debido a su marcada solubilidad en agua, un escape de este gas puede dominarse fácilmente con agua pulverizada. Las propiedades tóxicas e irritantes del amoniaco anhidro aconsejan el empleo de máscaras o caretas antigás y si se

prevé la posibilidad de que se produzca contacto directo con el líquido, debe emplearse ropa protectora. Si el líquido escapa en forma criogénica, es posible que se formen charcos, a los que debe evitarse la proyección de agua para impedir el aumento del nivel de vaporización, a menos que los vapores puedan dominarse.

5.3) Dióxido de Carbono

- a) **Clasificación:** No inflamable (inerte), licuado, industrial.
- b) **Propiedades Químicas:** Compuesto de carbono y oxígeno. Como el carbono está combinado químicamente con la mayor cantidad de oxígeno posible, no puede existir mayor oxidación (combustión), de ahí su no-inflamabilidad. Aunque no es tóxico, puede producir asfixia, debido al desplazamiento del aire respirable.
- c) **Propiedades Físicas:** El dióxido de carbono posee algunas propiedades físicas muy peculiares. A una temperatura de $-56,6^{\circ}\text{C}$ y una presión de 416,4 kPa (60,4 psi) pueden existir simultáneamente en el interior de un recipiente en estado líquido, sólido y gaseoso (punto triple). A temperaturas y presiones superiores a las anteriores e inferiores a $30,8^{\circ}\text{C}$ existe en estado líquido y gaseoso. Por encima de $30,8^{\circ}\text{C}$ sólo existe en estado gaseoso. A temperaturas normales, el gas es aproximadamente $1\frac{1}{2}$ veces más pesado que el aire.
- d) **Utilización:** El anhídrido carbónico se emplea fundamentalmente en las bebidas carbónicas, para la creación de atmósferas inertes y como agente extintor de incendios.
- e) **Riesgos en el Interior de Recipientes:** El anhídrido carbónico se transporta en cilindros, en vagones cisternas y camiones aislados. Se almacena en cilindros a una presión de 5.861 kPa a 21°C o en depósitos aislados a presiones de 1.380 a 2.150 kPa y temperaturas de $-28,8$ a $4,4^{\circ}\text{C}$.

Los cilindros van provistos de protección contra sobrepresiones en forma de discos de ruptura. Los depósitos aislados incorporan válvulas de descarga de presión. Los cilindros están expuestos a BLEVES como consecuencia de la corrosión, liberando energía suficiente para destruir vehículos de carga pequeños. No hay constancia de BLEVES en otros tipos de recipientes.

- f) **Riesgos de los Gases Fuera del Recipiente:** Además del peligro de asfixia, el contacto con los vapores fríos de dióxido de carbono puede producir congelación. Por este motivo, la activación de los sistemas de extinción por inundación de CO_2 exige un plazo de espera para proteger al personal que pueda permanecer en la zona afectada.
- g) **Control de Emergencias:** Las emergencias que puede presentar el dióxido de carbono son del tipo "sin incendio" y están relacionadas con el peligro de asfixia. Los sistemas aplicables son los de ventilación del edificio en los interiores y el riego con agua pulverizada en los exteriores. Deben emplearse aparatos autónomos de respiración.

5.4) Cloro

- a) **Clasificación:** Reactivo, no inflamable, licuado, tóxico, industrial.
- b) **Propiedades Químicas:** El cloro es un elemento químico básico. Aunque no es inflamable, puede reaccionar con muchas materias orgánicas de forma corrosiva y, en algunos casos, explosiva, especialmente con acetileno, aguarrás, éter, amoníaco gaseoso, hidrocarburos, la mayor parte de los gases combustibles y los metales finamente pulverizados.
La reactividad del cloro exige atención especial respecto de los materiales con que se construyen los recipientes, las tuberías y el equipo y la maquinaria destinados a su manipulación. Por debajo de los 110°C se emplean con profusión el acero, cobre, plomo y

fundición. En contacto con el agua forma ácido clorhídrico e hipocloroso, corrosivos para la mayor parte de los metales.

El cloro posee suficiente toxicidad como para ser considerado venenoso y se ha empleado en contiendas bélicas como gas letal. El cloro líquido causa quemaduras. Su fuerte olor advierte su presencia.

- c) **Propiedades Físicas:** El punto de ebullición normal del cloro es aprox. $-34,4^{\circ}\text{C}$. A 0°C la densidad de líquido es $1,468\text{ kg/m}^3$ y la densidad de gas $3,2\text{ kg/m}^3$. A la temperatura de ebullición el calor latente de vaporización es $287,7\text{ kJ/kg}$. El cloro tiene un color amarillo verdoso.
- d) **Utilización:** Se emplea fundamentalmente en procesos químicos, como blanqueador, depurador de agua potable y de piscinas y para el saneamiento de residuos industriales y aguas negras.
- e) **Riesgos en el Interior de Recipientes:** El cloro se transporta en cilindros, depósitos portátiles, llamados contenedores de una tonelada, así como por ferrocarril, en vagones cisternas aislados térmicamente. Los cilindros y contenedores de una tonelada están protegidos contra las sobrepresiones por tapones fusibles. Los vagones cisternas incorporan válvulas de descarga de presión. Debido a que el funcionamiento de los tapones fusibles origina una despresurización total, la probabilidad de que se desencadene una BLEVE es remota y no ha ocurrido nunca. No se tiene constancia de una BLEVE en un vagón cisterna con cloro, aunque teóricamente sea posible.

Aunque el acero es un material compatible con el cloro a temperaturas ambientales, resulta rápidamente atacado a temperaturas superiores a 110°C , pudiéndose producir fugas por exposición al fuego. Por esta razón y también para evitar una BLEVE, debe aplicarse agua a los contenedores expuestos al fuego. Siempre que sea posible, la aplicación no debe realizarse directamente sobre la fuga porque puede alargar la grieta por corrosión ácida.

- f) **Riesgos de los Gases Fuera de Recipientes:** Los principales riesgos del cloro son los de toxicidad y corrosión. Como el peso del gas de cloro es aproximadamente 2,5 veces el del aire, sus gases se extienden a ras del suelo.
- g) **Control de Emergencias:** El gas puede controlarse mediante utilización de agua pulverizada. Si se proyectan chorros de agua con mangueras, los bomberos deben emplear un equipo completo de ropa protectora. El agua aplicada al cloro líquido acelera su evaporación.

5.5) Etileno

- a) **Clasificación:** Inflamable, comprimido, criogénico, industrial.
- b) **Propiedades Químicas:** Compuesto de carbón e hidrógeno; contiene un doble enlace químico que le confiere cierto grado de reactividad. Se considera un material estable excepto a muy altas presiones, que sólo se producen normalmente en los procesos químicos industriales. Tiene un margen de inflamabilidad muy amplio y una alta peligrosidad de combustión, debido a su reactividad. Aunque no es tóxico, el etileno es anestésico y asfixiante.
- c) **Propiedades Físicas:**

Punto de ebullición normal

- Temperatura: $-103,7^{\circ}\text{C}$
- Densidad del líquido: $56,7\text{ kg/m}^3$
- Densidad del gas: $0,208\text{ kg/m}^3$
- Calor latente: $483,8\text{ kJ/kg}$

Condiciones normales

- Densidad del gas: 0,115 kg/m³
- Expansión: 487

Propiedades de Combustión

- Límite de inflamabilidad Inferior: 2,7%
- Límite de inflamabilidad Superior: 36%
- Densidad Relativa (aire=1): 0,98
- Aire necesario p/quemar 1 m³ de gas: 14,3 m³
- Temperatura de ignición: 490°C

- d) **Utilización:** El etileno se emplea principalmente en los procesos químicos industriales, como la manufactura de plásticos de polietileno. Se emplean cantidades menores en la maduración de la fruta.
- e) **Riesgos en el Interior de Recipientes:** El etileno se transporta en forma de gas comprimido en bombonas y en forma de gas criogénico en camiones y vagones cisternas aisladas. Se almacena en cilindros o en depósitos aislados. Las bombonas de etileno se protegen contra las sobrepresiones por medio de discos frágiles (fácilmente fracturables), excepto cuando se utilizan con fines médicos, que pueden tener obturadores fusibles u otra combinación de dispositivos de seguridad. Las cisternas para camión o vagones de ferrocarril están protegidas por válvulas de alivio. Las bombonas pueden sufrir roturas por exposición al fuego, pero no producen BLEVES, porque no contienen líquido. Los recipientes con aislamiento están sujetos al riesgo de una BLEVE, pero es raro que ocurra. Se tiene noticia de un caso sucedido en España, pero la cisterna de carga y el sistema de aislamiento no cumplían con las normas vigentes. Se ha informado de algunos casos de rotura por sobrepresiones de recipientes transportados a bordo de camiones que contenían este gas en forma criogénica debido a la congelación de las válvulas de alivio (en posición cerrada) incorrectamente instaladas.
- f) **Riesgos de los Gases Fuera del Recipiente:** El etileno presenta riesgos de explosión por combustión y de incendio cuando escapa de su recipiente. Su amplio margen de inflamabilidad y su alta velocidad de combustión acentúan estos peligros. En varios casos de grandes fugas al exterior se han producido explosiones en espacios abiertos.
- g) **Control de Emergencias:** Las fugas de etileno presentan situaciones de emergencia, tanto "con incendios" como "sin incendios". A las temperaturas atmosféricas normales, el gas etileno es algo más ligero que el aire. El gas que se evapora del líquido criogénico a temperaturas cercanas a su punto de ebullición tiene una densidad relativa de 1,25 respecto al aire a 21°C y puede extenderse a nivel del suelo. Las fugas de líquido forman charcos. Aunque la niebla visible creada es una indicación aproximada de la extensión del área de peligro, éste puede ampliarse más allá de la zona visible.
- Los escapes de gas se pueden controlar por medio de agua pulverizada. Debe evitarse el contacto del agua con el etileno encharcado para impedir el aumento de su vaporización, a no ser que haya forma de controlar estos vapores.
- Se debe aplicar agua a los recipientes expuestos al fuego y, siempre que sea posible, se debe cortar el escape de gas.

5.6) Hidrógeno

- a) **Clasificación:** Inflamable, comprimido, criogénico, industrial.
- b) **Propiedades Químicas:** El hidrógeno es un elemento químico básico. Tiene un margen de inflamabilidad extremadamente amplio y la velocidad de combustión más alta de todos los gases; su temperatura de ignición es razonablemente alta, pero su energía de ignición es muy

baja. Por no contener carbón, arde con una llama muy poco luminosa que frecuentemente no es visible a la luz del día. No es tóxico.

c) Propiedades Físicas:

Punto de ebullición normal

- Temperatura: - 252,8°C
- Densidad del líquido: 7,1 kg/m³
- Densidad del gas: 0,134 kg/m³
- Calor latente: 448,2 kJ/kg

Condiciones normales

- Densidad del gas: 0,008 kg/m³
- Expansión: 850

Propiedades de Combustión

- Límite de inflamabilidad Inferior: 4,0%
- Límite de inflamabilidad Superior: 75%
- Densidad Relativa (aire=1): 0,07
- Aire necesario p/quemar 1 m³ de gas: 2,4 m³
- Temperatura de ignición: 500°C

d) Utilización: Se emplea fundamentalmente en procesos químicos industriales, para la hidrogenación de aceites comestibles, soldadura y oxicorte, creación de atmósferas especiales en los tratamientos térmicos de metales y como refrigerante de los grandes generadores eléctricos.

e) Riesgos en el Interior de Recipientes: El hidrógeno no se transporta como gas comprimido en cilindros sin aislamiento; como gas criogénico en cilindros aislados y en camiones y vagones cisternas aislados térmicamente. Se almacena en cilindros o en depósitos aislados. Las bombonas de hidrógeno comprimido están protegidas contra las sobrepresiones por discos frágiles, fácilmente fracturables, o mediante combinaciones de estos discos con obturadores fusibles. Las bombonas y cisternas aisladas y los depósitos de almacenamiento están protegidos por válvulas de alivio y discos fracturables. Las bombonas de gas comprimido pueden sufrir roturas pero no BLEVES, puesto que no contienen líquido. Los recipientes térmicamente aislados para gas en forma criogénica están teóricamente sujetos a la producción de una BLEVE, pero no existen referencias de ningún accidente de este tipo.

f) Riesgos de los Gases Fuera del Recipiente: La fuga de gas de su envase produce dos tipos de riesgos: el de explosión por combustión y el de incendio. Aunque su amplísimo margen de inflamabilidad y su alta velocidad de combustión acentúan estos peligros, la baja energía de ignición, el poco calor de combustión en relación con su volumen y la producción de llama no luminosa (bajo nivel de radiación térmica) ejercen influencias restrictivas en muchos casos. Debido a su baja energía de ignición, cuando el hidrógeno en estado gaseoso se escapa a altas presiones, las fuentes productoras de calor teóricamente débiles, por ejemplo la fricción o la generación de electricidad estática, pueden producir igniciones inmediatas. Por esta razón, se cree generalmente que en tales condiciones el hidrógeno es autoignicionante. El estudio de los antecedentes de escapes a alta presión revela que es más fácil que se produzca un incendio que una explosión por combustión. Sin embargo, cuando el escape es a baja presión, la autoignición es menos probable, ocurriendo explosiones por combustión que se caracterizan por un rápido aumento de la presión que hace muy difícil liberar eficazmente este tipo de explosiones. Han ocurrido explosiones en espacios abiertos por grandes fugas de hidrógeno gaseoso.

Debido a su bajo punto de ebullición, el contacto entre el hidrógeno y el aire puede tener como resultado la condensación de este último y de sus componentes, oxígeno y nitrógeno. La mezcla de nitrógeno y oxígeno líquido es potencialmente explosiva, aunque las cantidades que se presenten sean probablemente muy pequeñas. Los accidentes de este tipo se limitan generalmente al equipo de licuación interior y a pequeños recipientes de hidrógeno líquido que se manipulan estando abiertos en la atmósfera o en el interior de un equipo de licuefacción.

A temperaturas ordinarias, el hidrógeno es muy ligero, con un peso de aproximadamente un quinceavo del peso del aire. El alto índice de difusión correspondiente hace muy difícil que el hidrógeno se acumule en el interior de los edificios normales, a no ser que la fuga sea muy grande. Este fenómeno tiende a reducir los riesgos de explosión por combustión.

- g) Control de Emergencias:** El escape de hidrógeno gaseoso presenta pocas veces una situación de emergencia de las llamadas "sin incendio", porque o se incendia inmediatamente o se eleva y se pierde enseguida en la atmósfera. El gas de hidrógeno que se evapora del líquido criogénico a temperaturas próximas a su punto de ebullición normal es ligeramente más pesado que el aire a 21°C, lo que, junto con la niebla visible de vapor de agua condensado que se forma, hace que se extienda a nivel del suelo a distancias considerables, según las dimensiones de la fuga y las condiciones meteorológicas. Debido a la baja densidad gaseosa de los vapores que resultan de la evaporación del hidrógeno criogénico líquido, no se necesita construir barreras a la altura del suelo.

Las mezclas capaces de inflamarse pueden extenderse bastante más allá del espacio ocupado por la nube visible. Tales escapes pueden controlarse por medio de agua pulverizada. Debe evitarse el contacto entre el agua y los charcos de hidrógeno para impedir que continúe la evaporación, a no ser que haya medios de controlar el vapor. Debe aplicarse agua a los recipientes expuestos al fuego; las fugas de gas debe detenerse siempre que sea posible. Como el hidrógeno arde con una llama muchas veces invisible a la luz del día, y esta llama produce unos niveles muy bajos de radiación térmica, existe el riesgo de entrar inadvertidamente en una zona incendiada. Para evitar este riesgo, se recomienda llevar extendida por delante una escoba e ir tirando puñados de desperdicios o basuras, mientras se avanza lentamente, para localizar el extremo del fuego.

5.7) Gas Natural Licuado (GNL)

- a) Clasificación:** Inflamable, criogénico, combustible.
- b) Propiedades Químicas:** Es una mezcla de materias que contienen carbono e hidrógeno. El principal componente es el metano, con menores cantidades de etano, propano y butano. La composición varía, dependiendo principalmente de si la fuente del gas natural es un gasoducto o un pozo de gas. En el primer caso, la mayor parte del propano y del butano de gas se extraen antes de introducirlo en el gasoducto. El GNL no es tóxico, pero sí asfixiante. Composición aproximada: metano 83-99%; etano 1-13%; propano 0,1-3% y butano 0,2-1%.
- c) Propiedades Físicas:**
- Punto de ebullición normal: -160 a -164 °C
 - Densidad del líquido a presión normal: 0,42 a 0,48 kg/l
 - Densidad de vapor a presión normal (relativa al aire a 21°C): 1,47
 - Factor de expansión: 600:1
 - Calor de vaporación: 512 - 577 kJ/kg
 - Límite de inflamabilidad: 5 a 14%
 - Calor de combustión: 51,2 MJ/kg

- Velocidad de combustión charco estacionario: 5 a 15 mm/min
- d) **Riesgos de los Gases Fuera de Recipientes:** El GNL presenta peligros de explosión por combustión y de incendio cuando escapa de su recipiente. Actualmente, el GNL se emplea muy poco en interiores y, cuando esto es necesario, la instalación se proyecta previniendo los riesgos de explosión por combustión. Las pruebas realizadas y los datos de experiencias previas indican que los escapes de GNL no están expuestos a explosiones a cielo abierto.
- e) **Control de Emergencia:** Los escapes de GNL presentan situaciones de emergencia, tanto "sin incendio" como "con incendio". El GNL evaporado del líquido criogénico a una temperatura cercana a su punto de ebullición es aproximadamente una vez más pesado que el aire a 21 °C y se extiende a nivel del suelo ayudado por la niebla visible de la condensación de vapor de agua que se forma. La extensión de esta niebla depende de las dimensiones de la fuga y de las condiciones meteorológicas, así como de la forma geométrica de la zona delimitada por las barreras que existan. El área capaz de inflamarse viene determinada aproximadamente por la extensión de la nube visible, pero puede prolongarse más allá de esta zona visible. Estos escapes pueden controlarse mediante agua pulverizada. Debe evitarse el contacto entre el agua y el GNL encharcado para impedir el aumento de la vaporización, a no ser que haya medios para controlar el vapor. Se debe aplicar agua a los recipientes expuestos al fuego y detener la fuga siempre que sea posible.

5.8) Gas Licuado del Petróleo

- a) **Clasificación:** Inflamable licuado (incluso criogénico), combustible.
- b) **Propiedades Químicas y Físicas:** El GLP es una mezcla de materias que contienen carbono e hidrógeno. En el comercio, el GLP suele ser predominantemente propano o butano normal, o mezclas de estos dos gases, con menores cantidades de etano, etileno, propileno, isobutileno y butileno (incluso sus isómeros). Las principales variaciones de la composición dependen de la fuente de obtención del gas (pozos de gas o refinerías de petróleo). El gas licuado de petróleo no es tóxico pero sí asfijante.

	Propano comercial	Butano comercial
Presión de vapor en kPa a:		
20°C	895	103
40°C	1.482	285
45°C	1.672	345
55°C	1.980	462
Densidad relativa a 15,5°C	0,509	0,582
Punto de ebullición inicial a 101 kPa (°C)	-42	-9
Peso por m ³ de líquido a 15,5°C (kg)	504	582
Calor específico del líquido a 15,5°C (kJ/kg)	1,46	1,28
m ³ de vapor por litro a 15,5°C	0,271	0,235
m ³ de vapor por kg a 15,5°C	0,534	0,410
Densidad de vapor a 15,5°C (aire=1)	1,50	2,01
Temperatura de ignición en el aire (°C)	493-549	482-538
Temperatura máxima de la llama en aire (°C)	1.980	1.990
Límite de inflamabilidad en el aire (%)		
Inferior	2,15	1,55
Superior	9,60	8,60
Calor latente de vaporización en el punto de ebullición		

(kJ/kg)	428	388
Valores totales de calor después de la vaporización (MJ/kg)	49.920	49.140

c) **Utilización:** El GLP se emplea principalmente como gas combustible doméstico, comercial, agrícola e industrial, en algunos procesos químicos-industriales y como combustible para motores. En su aplicación comercial o doméstica se le suele llamar "gas envasado".

d) **Riesgos en el Interior de Recipientes:** El GLP se transporta en formas de gas licuado en bombonas no aislada, en camiones, vagones cisternas de ferrocarril o embarcaciones. También se transporta a bajas temperaturas (próxima a la de ebullición inicial) en embarcaciones provistas de aislamiento térmico. Se almacena en bombonas, en depósitos térmicamente aislados.

Generalmente, los recipientes de GLP están protegidos contra los riesgos que producen las sobrepresiones por medio de válvulas de alivio, aunque algunas bombonas están protegidas por obturadores fusibles y, ocasionalmente, por una combinación de dispositivos. La mayor parte de los recipientes están expuestos a una BLEVE.

e) **Riesgos de los Gases Fuera de Recipiente:** Cuando se escapa de su recipiente, el GLP presenta riesgos, tanto de explosión por combustión como de incendio. Puesto que la mayor parte de sus aplicaciones se realizan en interiores, el riesgo principal es el de explosión por combustión. Este riesgo se acentúa cuando el GLP se emplea en interiores en su fase líquida, ya que 3,87 litros de butano o propano líquido producen entre 927 a 1.041 litros de gas.

f) **Control de Emergencias:** Las fugas de GLP presentan situaciones de emergencia, tanto "sin incendio" como "con incendio". El vapor de GLP es normalmente de 1 ½ a 2 veces más pesado que el aire y el que se evapora del líquido a la temperatura de ebullición normal es aún más pesado. Por lo tanto, tiende a extenderse a nivel del suelo, ayudado por la niebla de vapor de agua condensada que se forma. Las mezclas capaces de inflamarse se extienden más allá de la zona ocupada por la niebla visible. Este tipo de escapes pueden controlarse por medio de agua pulverizada. Cuando el propano se almacena y maneja a temperatura atmosférica es raro que se encharque, excepto en condiciones de temperatura ambientales muy bajas.

El butano no es criogénico y el gas licuado de petróleo criogénico se encharca fácilmente. Debe evitarse el contacto entre el agua y los charcos de GLP para impedir que aumente la vaporización, a no ser que existan medios para controlar el vapor.

Se debe aplicar agua a los recipientes expuestos al fuego y detener el escape de gas siempre que sea posible.

5.9) Oxígeno

a) **Clasificación:** No inflamable (oxidante), comprimido, criogénico, industrial y de medicina.

b) **Propiedades Químicas:** El oxígeno es un elemento químico básico. Reacciona prácticamente con todas las materias y esta reacción general se conoce como oxidación. La combustión es un tipo especial de reacción de oxidación. En la mayor parte de las reacciones de combustión, el oxígeno está acompañado de nitrógeno, denominándose "aire" a la mezcla de los dos. Por ser el nitrógeno un gas inerte no participa en lo más mínimo en la reacción de combustión, en realidad la inhibe. Por lo tanto, las concentraciones de oxígeno mayores que las existentes normalmente en el aire aumentan proporcionalmente los peligros de combustión. Esto afecta a todos los parámetros básicos de la combustión, excepto al calor de combustión. Por ejemplo, al aumentar la concentración de oxígeno, la temperatura y la energía de ignición

disminuye, el margen de inflamabilidad se amplía y la velocidad de combustión aumenta, dándose los efectos máximos en una concentración de oxígeno del cien por cien.

Debido a estas propiedades, el diseño de sistemas que contengan un 100% de oxígeno ha de prestar una atención especial a estos factores desde el punto de vista de la incompatibilidad.

c) Propiedades Físicas:

Punto de ebullición normal

- Temperatura: - 297,4°C
- Densidad del líquido: 114,2 kg/m³
- Densidad del gas: 0,474 kg/m³
- Calor latente: 213,3 kJ/kg

Condiciones normales

- Densidad del gas: 0,113 kg/m³
- Expansión: 861

d) Utilización: El oxígeno se emplea primordialmente en la producción de acero, el corte y soldadura de metales, aplicaciones de medicina, sistemas de mantenimiento de la vida, aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales y procesos químicos industriales.

e) Riesgos en el Interior de Recipientes: El oxígeno se transporta en forma comprimida o criogénica en bombonas y en vagones y camiones cisternas. Se almacena en cilindros o bombonas (aisladas o no) o en depósitos aislados.

Las bombonas de oxígeno comprimido están protegidas contra sobrepresiones por discos frágiles, fácilmente fracturables, o por una combinación de éstos con obturadores fusibles. Los recipientes criogénicos provistos de aislamiento térmico están protegidos por válvulas de alivio. El metal para la confección de recipientes y tuberías para el uso de este gas debe estar seleccionado cuidadosamente, atendiendo a las condiciones de servicio. Para muchas de las aplicaciones son aceptables varios tipos de acero, pero algunos servicios especiales exigen el empleo de otros materiales (generalmente cobre o sus aleaciones) por su mayor resistencia a la ignición y su menor índice de combustión.

Análogamente, las materias que pueden entrar en ignición en el aire tienen energías inferiores en atmósferas de oxígeno. Muchas de estas materias pueden entrar en ignición por fricción en la base de la válvula, o por obturación del vástago, o por compresión adiabática producida cuando se introduce rápidamente el oxígeno a alta presión en un sistema que estaba inicialmente a baja presión.

Las roturas de recipientes de oxígeno debidas a exposición al fuego son raras, quizá como consecuencia de los requisitos de las normas que exigen su separación de otros gases inflamables y otros combustibles. Muchos "fallos" de los componentes de los sistemas de oxígeno se deben, en realidad, a la acumulación de grasas, aceites, etc., en la superficie de dichos componentes, que están en contacto con el oxígeno, lo que es índice de niveles inferiores de entrenamiento o conservación. Estas materias entran en ignición bastante fácilmente si están expuestas al aire, y mucho más en una atmósfera de oxígeno al 100%, y su ignición suele tener como resultado la combustión de los componentes del sistema, que son incombustibles en el aire, incluidos los metálicos. Tales incidentes se producen normalmente en pequeñas partes de dichos componentes, pero pueden tener aspectos bastante espectacular y generar efectos locales, como lesiones al personal. Convencionalmente se los denomina llamaradas.

f) Riesgos de los Gases Fuera de Recipiente: El escape de oxígeno comprimido o licuado se manifiesta generalmente por aceleración del fuego en caso de incendio. El de oxígeno líquido, en ausencia de fuego, presenta la posibilidad de que se forme una mezcla de oxígeno y

combustible previa a la ignición. Si en estas circunstancias se retrasase la ignición hay peligro de explosión. Prácticamente, cualquier combinación de oxígeno líquido y materia combustible es potencialmente explosiva por la rápida combustión que produce. Algunos explosivos comerciales se obtienen de esta manera. El oxígeno es ligeramente más pesado que el aire a igual temperatura.

- g) Control de Emergencias:** Las fugas de oxígeno presentan fundamentalmente una situación de emergencia "sin incendio", pero pueden crear una del tipo "con incendio" en las cercanías de maquinaria o equipos que funcionan quemando combustible, o de aparatos que produzcan arco eléctrico. Los componentes metálicos de motores de combustión interna, por ejemplo, han ardido en atmósferas ricas en oxígeno creadas por un escape de este gas. El oxígeno gaseoso que se evapora del líquido criogénico a la temperatura de ebullición normal es aproximadamente cuatro veces más pesado que el aire a 21°C y se extiende a nivel del suelo ayudado por la niebla visible de vapor de agua condensado que se forma. Este tipo de escape puede controlarse por medio de agua pulverizada. Debe evitarse el contacto entre el agua y el oxígeno líquido encharcado para impedir que aumente la vaporización, a no ser que se disponga de medios para controlar los vapores. Se debe aplicar a agua a los recipientes que estén expuestos al fuego y debe detenerse, de ser posible, el escape de gas.

5.10) Gases de Servicio Público

- a) Clasificación:** Inflamable, combustible.
- b) Propiedades Químicas:** El término "gases de servicio público" se aplica a cualquier gas inflamable distribuido por empresas de gas como combustible. Hoy día, este sector está dominado por el gas natural. Las compañías de gas también distribuyen ciertas cantidades de gases licuados del petróleo y la mayor parte emplea los GLP para aumentar el suministro de gas natural durante períodos de escases o de punta, como sucede, por ejemplo, en inviernos más fríos o más largos de lo normal.

El gas natural es el resultado de la descomposición de la materia orgánica por el calor, la presión o la acción bacteriológica de aire y generalmente bajo tierra. Por formarse bajo tierra, está compuesto tanto de gases inflamables como no inflamables. Los inflamables se componen de carbón o hidrógeno y son principalmente el metano y el etano, con algo de propano, butano y pentano; los no inflamables son nitrógeno y dióxido de carbono. En el comercio, la mayor parte de los gases no inflamables se elimina antes de su distribución, de modo que el gas natural consta de entre el 70 y el 90% de metano; el resto es etano en su mayor parte.

El gas natural no es tóxico pero sí asfixiante; no tiene olor propio y generalmente se le confiere un cierto olor antes de su distribución.

- c) Propiedades Físicas:** Con la excepción del gas natural licuado (GNL), el gas natural para servicio público se distribuye en forma de gas comprimido a presiones que varían desde 1,72 a 6.895 kPa y en bombonas a presiones de hasta 24,8 MPa. El gas tiene una densidad de aproximadamente dos tercios la del aire.
- d) Utilización:** El gas natural de servicio público se emplea para producir energía eléctrica y calefacción doméstica, comercial e industrial. También se utiliza como combustible de motores, conocido como "gas natural comprimido" (GNC). El gas (suministrado normalmente desde una red de distribución para servicios públicos) se comprime entre 2.400 y 2.600 psi (16,5 a 24,8 MPa), se almacena en estaciones de gas y se carga en bombonas para vehículos a la misma presión.

- e) Riesgos en el Interior de Recipientes:** El gas natural para servicio público se distribuye casi exclusivamente a lo largo de una red conducciones subterráneas. Se transporta desde los pozos de gas en gasoductos de gran dimensión a presiones de hasta 689,5 kPa. Las compañías de servicios público que se abastecen reducen las presiones para la distribución hasta 1,72 a 414 kPa. Para controlar las presiones se utilizan reguladores y dispositivos de descarga. Para la construcción de los gasoductos se emplea generalmente hierro fundido y acero. Han comenzado a utilizarse termoplásticos y plásticos termocontraíbles en conducciones a 689,5 kPa. La exposición al fuego no supone problema porque la inmensa mayoría de las tuberías son subterráneas. La mayor parte de las roturas se debe a daños producidos por excavaciones y corrosión.
- Las bombonas se protegen contra las sobrepresiones incorporando discos de ruptura y tapones fusibles. Los depósitos van equipados con válvulas de muelle de descarga. Los depósitos de GNC pueden sufrir roturas, pero nunca una BLEVE porque no contienen líquido.
- f) Riesgo de los Gases Fuera de Recipientes:** El gas natural presenta peligros, tanto de explosiones por combustión como de incendio, si se escapa de los recipientes. Como la mayor parte de sus aplicaciones son en interiores, predomina el riesgo de explosión por combustión. En aproximadamente tres de cada cuatro explosiones producidas, el gas se escapó de la tubería principal de distribución enterrada o de la conexión de acometida que iba desde la tubería principal hasta los edificios. En los demás casos, la fuga tuvo lugar en las tuberías internas del edificio o en los aparatos o instalaciones que quemaban el gas.
- Las explosiones a cielo abierto o en espacios libres han tenido lugar como consecuencia de rotura de secciones de gran diámetro de los gasoductos de gas a alta presión. Se están sucediendo con creciente frecuencia explosiones por combustión de gas natural, producido biológicamente como resultado de la urbanización de terrenos pantanosos o antiguos vertederos de residuos.
- g) Control de Emergencias:** Las fugas de gases naturales presentan situaciones de emergencias, tanto "con incendio" como "sin incendio". Aunque los gases de servicios públicos son sensiblemente más ligeros que el aire, la mayor parte de los escapes de gas bajo tierra discurren sin salir al exterior, generalmente siguiendo un curso de agua subterráneo o las tuberías del agua, alcantarillado o conductos eléctricos, a distancias de más de 100 metros, penetrando de esta forma en las partes subterráneas de los edificios o sótanos. Por ello, el control de estos escapes se realiza por ventilación, mejor que mediante el empleo de chorros de agua.
- Por su ligereza, los escapes de gases naturales no inflamables rara vez constituyen problemas. Los fuegos de gas natural no deben, normalmente, extinguirse de otra manera que no sea el corte de la fuga.

LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

INDICE

- 1) TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS
- 2) PRODUCTOS QUÍMICOS OXIDANTES
- 3) PRODUCTOS QUÍMICOS COMBUSTIBLES
- 4) PRODUCTOS QUÍMICOS INESTABLES
- 5) PRODUCTOS QUÍMICOS QUE REACCIONAN CON EL AIRE Y EL AGUA
- 6) PRODUCTOS QUÍMICOS CORROSIVOS
- 7) MATERIALES RADIATIVOS

Para que las medidas de control de incendios de productos químicos sean seguras y eficaces, se requieren conocimientos sobre los riesgos de los productos químicos peligrosos. Trataremos a continuación los productos químicos peligrosos por sus propiedades distintas o adicionales a la combustibilidad. Con el objeto indicado, los productos químicos se clasifican de acuerdo con las propiedades peligrosas siguientes:

- Capacidad de oxidar a otros materiales
- Combustibilidad
- Inestabilidad
- Actividad en presencia de aire o agua
- Corrosividad
- Radiactividad.

Aunque muchos productos químicos poseen más de una de estas propiedades, se acostumbra a clasificarlos por la propiedad predominante. Esta metodología entraña el riesgo de pasar por alto alguna característica peligrosa no citada; por ello, se hace necesario recurrir, cuando se está investigando o estudiando un producto químico, a publicaciones apropiadas como diccionarios químicos, pliegos de datos, datos sobre productos químicos peligrosos, etc..

1) TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

La Toxicidad de los productos químicos es de particular importancia desde el punto de vista de la protección y lucha contra el fuego, independientemente de los riesgos de incendios del material tóxico. Un fuego o una explosión pueden exponer a los bomberos a muy graves riesgos para su vida, en su presencia, se producen emisiones accidentales de materias tóxicas. En otras situaciones, en las que los bomberos estén enterados de la existencia de peligro de toxicidad real o potencial, puede ser necesario tomar la decisión de abandonar la lucha manual contra el fuego.

Antes de proceder al empleo de cualquier producto químico debe obtenerse información sobre su toxicidad y cuando ésta se presenta con características graves hay que buscar un sustituto menos tóxico. En los casos en que no pueda encontrarse un modo práctico de eliminar el material tóxico, debe preverse el medio de protección adecuado para quienes tienen que exponerse diariamente a estos riesgos, así como para el personal de Bomberos en caso de que se viera obligado a intervenir.

La protección contra los efectos tóxicos de los productos químicos durante su manipulación puede lograrse de dos modos. El primero es la adopción del método más práctico para mantenerles siempre aislados y bajo control, de modo que no sea fácil entrar en contacto con ellos, ingerirlos o inhalarlos en cantidades peligrosas durante las operaciones normales; el segundo es la instrucción del personal que pudiera encontrarse en zonas donde se manipulan, respecto a los riesgos, procedimientos de precaución que deben seguirse, señales de peligro y medidas adecuadas en caso de emergencias.

2) PRODUCTOS QUÍMICOS OXIDANTES

Varios grupos importantes de productos químicos, conocidos como agentes oxidantes, producen oxígeno para la combustión. Aunque la mayoría de los productos químicos oxidantes no son combustibles, pueden facilitar la ignición de materiales que sí lo sean e incrementar, en cualquier caso, la intensidad del fuego. Algunos agentes oxidantes pueden descomponerse

espontáneamente (inestabilidad), reuniendo de esta forma todos los ingredientes necesarios para que se produzca un incendio o una explosión.

2.1) Nitratos

Las propiedades de los nitratos inorgánicos con riesgo de incendio tienen importancia debido a su abundante empleo como fertilizante y en baños de sales y otros usos industriales. En caso de incendio, los nitratos inorgánicos pueden fundirse y liberar oxígeno, haciendo que el fuego se intensifique. Las sales derretidas o fundidas reaccionan con los materiales orgánicos con considerable violencia y esta reacción suele liberar óxidos tóxicos de nitrógeno. El empleo de chorros de agua para combatir estos incendios puede provocar explosiones de vapor, cuando entran en contacto con el material fundido.

2.1.1) Nitrato Sódico

Aunque incombustible, el nitrato de sodio promueve la combustión de otros materiales. Cuando se eleva a su temperatura de 370°C, desprende oxígeno, lo que aumenta la intensidad del fuego que haya en sus cercanías. Es soluble en agua e higroscópico; esta solubilidad en el agua, común a la mayor parte de los nitratos, es indirectamente responsable de muchos incendios graves. Si las bolsas de papel, yute o tela que contienen nitrato se humedecen durante el transporte o el almacenamiento, al secarse mantienen una impregnación de nitrato que es altamente combustible. Por esta razón, se recomienda que los nitratos se transfieran desde los sacos o barriles de madera en que han sido transportados a tolvas o depósitos no combustibles antes del almacenamiento y que las bolsas, sacos o barriles se laven perfectamente. Por la misma razón, el almacenamiento a granel del nitrato de sodio en almacenes con piso, paredes o pilares de madera se considera peligroso. Una mezcla íntima de nitrato de sodio y material orgánico puede explotar si se la expone a una llama.

2.1.2) Nitrato Potásico

Las propiedades y riesgos del nitrato de potasio son similares a las del nitrato de sodio, aunque absorbe menos humedad.

2.1.3) Nitrato Amónico

Igual que otros nitratos inorgánicos, el nitrato amónico es un agente oxidante capaz de aumentar la intensidad del fuego. El gas oxidante que desprende es óxido nitroso en lugar de oxígeno. El nitrato amónico no debe confundirse con ciertas mezclas de materiales combustibles y nitrato amónico, que se emplean como explosivos.

Todas las calidades de nitrato amónico pueden hacerse detonar si se encuentran en la forma cristalina adecuada, si la fuente iniciadora es suficientemente grande o si ésta se ha calentado bajo suficiente confinamiento (mayor grado de confinamiento necesario cuando más puro sea el material).

Ha quedado demostrado por las explosiones a bordo de barcos, sucedidas en Texas City (Texas) y Brest (Francia), ambas en 1947, y otra sucedida en el Mar Rojo, en 1953, así como la explosión que siguió al accidente de un tren de mercancías en Traskwood, Arkansas, en diciembre de 1960, y la explosión de un almacén a granel ceca de Pryor, Oklahoma, en enero de 1973, que el nitrato amónico puede detonar por razones distintas a la de una iniciación con explosivos.

Los proyectiles procedentes de explosiones cercanas pueden iniciar reacciones productoras de detonaciones, particularmente si el nitrato amónico de calidad fertilizante está caliente.

No puede descartarse totalmente el inicio de la detonación del nitrato amónico calidad fertilizante por su exposición al fuego.

Si el nitrato amónico de calidad fertilizante se mezcla íntimamente con fuel-oil, polietileno molido o papel molido, aunque poco probable, es posible el paso de combustión a detonación si las dimensiones de las pilas son las que normalmente se emplean en almacenaje y transporte. Estas mezclas se clasifican como agentes detonantes y deben almacenarse de acuerdo con las normas de materiales explosivos.

Las detonaciones de gas son incapaces de desencadenar una detonación de nitrato amónico de calidad fertilizante.

El nitrato amónico de calidad fertilizante recalentado puede detonar por medio de una bala de alta velocidad o el impacto de un proyectil.

El nitrato amónico no es peligroso a no ser que se derrame sobre alguna materia combustible y se permita que se seque. Sin embargo, ciertos ensayos realizados por los japoneses han demostrado que las soluciones que contengan hasta un 8% de agua pueden hacerse detonar.

2.1.4) Nitrocelulosa

Vea el apartado sobre Plásticos y caucho.

2.2) Acido Nítrico

Vea el apartado de productos químicos corrosivos.

2.3) Nitritos

Los nitritos no deben confundirse con los nitratos. Contienen un átomo de oxígeno menos, pero son agentes más activos, puesto que se funden y emiten oxígeno a temperaturas más bajas. Los nitritos mezclados con sustancias combustibles son peligrosos y tal tipo de mezcla no debe exponerse al calor o a la llama. Ciertos nitritos, especialmente el nitrito amónico, son explosivos por sí solos. Los nitritos deben tratarse igual que los nitratos en cuanto al almacenamiento, manipulación y lucha contra el fuego.

2.4) Peróxidos Inorgánicos

2.4.1) Peróxidos de Sodio, de Potasio y de Estroncio

Estos productos químicos no son combustibles por sí solos, pero reaccionan peligrosamente ante el agua desprendiendo oxígeno y grandes cantidades de calor. Grandes cantidades de sodio y de potasio pueden reaccionar con el agua produciendo una explosión y el calor de la reacción, con una pequeña cantidad de agua, puede causar la descomposición de todo el contenido del recipiente. De haber en las proximidades una materia oxidante, orgánica o de otro género, es muy probable que, al producirse dicha reacción, siga un incendio.

2.4.2) Peróxido de Bario

El calor hace que el peróxido de bario desprenda oxígeno. Las mezclas íntimas de peróxidos de bario con materias combustibles o fácilmente oxidables son explosivas y entran en ignición fácilmente por rozamiento o por contacto con un poco de agua.

2.4.3) Peróxido de Hidrógeno

En contraste con los tres peróxidos antes mencionados, que son polvos blancos, el peróxido de hidrógeno es un líquido almibarado. En forma pura es relativamente estable. Si se le calienta y mantiene a una temperatura de 100°C el peróxido de hidrógeno con una pureza de 99,2% se descompone a razón de un 4% al año y el material en concentraciones del 50 al 90% se descompone en proporción algo inferior a un 2% por día. A temperaturas cercanas al punto de ebullición, la descomposición es muy rápida y si no se proporciona suficiente desahogo, la presión en el recipiente puede bastar para romperlo. En general, el material diluido es menos estable que el concentrado.

En concentraciones del 86 a 90,7%, las soluciones de peróxido de hidrógeno pueden detonar. Con concentraciones superiores al 92%, el líquido puede explotar por choque o impacto. Los vapores concentrados de peróxido de hidrógeno pueden explotar por una chispa. A la presión atmosférica, el material en ebullición debe contener un 74% o más de peróxido de hidrógeno para producir vapores explosivos.

La descomposición del peróxido de hidrógeno produce agua, oxígeno y calor. En concentraciones superiores al 35%, el calor es suficiente para convertir toda el agua en vapor, suponiendo que la descomposición se haya iniciado a temperaturas de 22°C. Esto significa que es posible una explosión de vapor en el caso de una descomposición súbita del material concentrado. Esta descomposición puede estar causada por contaminación con hierro, cobre y otros metales (excepto aluminio) o sus sales. La descomposición también puede ser provocada por polvos combustibles o por contacto con una superficie áspera como la del cristal esmerilado. El peróxido de hidrógeno es un agente oxidante muy energético y puede causar la ignición de materiales combustibles con las que permanezca en contacto en concentraciones superiores a 35%.

2.5) Cloratos

Puede llegarse a una comprensión de las propiedades de los cloratos que representan riesgos de incendio estudiando las del miembro mejor conocido del grupo, el clorato potásico.

Clorato potásico: Se trata de una sustancia cristalina blanca soluble en agua, no combustible; es un fuerte agente oxidante que, al calentarse, desprende oxígeno más fácilmente que los nitratos. Debe evitarse la mezcla de clorato de potasio con materias combustibles, como por ejemplo, el polvo y las partículas de suciedad que se producen al barrer el suelo, puesto que en tales condiciones puede entrar en ignición o explotar espontáneamente. Los bidones que contengan cloratos pueden explotar si se calientan. El clorato de sodio tiene propiedades similares al clorato de potasio.

2.6) Cloritos

Clorito de sodio: Es un poderoso agente oxidante que forma mezclas explosivas con materiales combustibles. En contacto con ácidos fuertes emite dióxido de cloro, gas explosivo. A 175 °C se descompone liberando calor.

2.7) Dicromatos

Entre los dicromatos, ninguno de los cuales son combustibles, el de amoníaco es el que se descompone con más facilidad. Comienza a descomponerse a 180°C y por encima de 225°C la descomposición es autosostenida y viene acompañada por la emisión de calor y nitrógeno gaseoso. Los recipientes herméticos se rompen al alcanzarse la temperatura de descomposición. Los otros dicromatos, como el dicromato potásico, reaccionan con los materiales fácilmente oxidables y en algunos casos pueden causar su ignición. Al calentarse liberan oxígeno.

2.8) Hipocloritos

El hipoclorito de calcio puede causar la ignición de materiales combustibles u orgánicos que estén en contacto con él. Cuando se calienta produce oxígeno. En la presencia de ácidos o humedad y a temperaturas ordinarias, produce libremente cloro, monóxido de cloro y algo de oxígeno. Se vende en el mercado como polvo para blanquear o, concentrado, como desinfectante para piscinas.

2.9) Percloratos

Los percloratos contienen un átomo de oxígeno más que los cloratos. Tienen aproximadamente las mismas propiedades, pero son más estables que ellos. Son explosivos con ciertas condiciones, como cuando entran en contacto con ácido sulfúrico concentrado.

2.9.1) Perclorato de amoníaco

Este producto químico tiene gran sensibilidad explosiva cuando se encuentra contaminado con impurezas tales como azufre, metales en polvo y materias orgánicas. El material en estado puro puede detonar en contacto con fuego. Su mezcla con un clorato puede formar clorato de amoníaco, que es espontáneamente explosivo.

2.9.2) Percloratos de Potasio, de Sodio y de Magnesio

Cada uno de estos productos forma mezclas explosivas con materias orgánicas combustibles, orgánicas u otras fácilmente oxidables. El perclorato de magnesio se emplea algunas veces como desecante en lugar del cloruro de calcio, lo que exige una cuidadosa vigilancia para evitar contaminaciones peligrosas.

2.10) Permanganatos

Las mezclas de permanganatos inorgánicos y materias combustibles pueden entrar en ignición por fricción o espontáneamente en presencia de un ácido inorgánico. En tales circunstancias pueden producirse explosiones, tanto si el permanganato está en disolución como en forma seca.

Permanganato de potasio: Este producto químico reacciona violentamente con sustancias oxidables finamente molidas. En contacto con el ácido sulfúrico o con el peróxido de hidrógeno, es explosivo.

2.11) Persulfatos

Los persulfatos, como el de potasio, son fuertes agentes oxidantes que pueden causar explosiones durante un fuego. El oxígeno desprendido por el calor de un fuego puede causar la rotura explosiva de los envases. La explosión también puede ser consecuencia de la mezcla accidental del persulfato con un material combustible.

3) PRODUCTOS QUÍMICOS COMBUSTIBLES

3.1) Negro de Carbón

El negro de carbón se forma por la descomposición del acetileno, por la descomposición incompleta del gas natural o de una mezcla de gas natural y de hidrocarburos, o por el fraccionamiento de vapor de hidrocarburos, o por el fraccionamiento de vapor de hidrocarburos en ausencia de aire. Su momento más peligroso es el inmediatamente posterior a su fabricación, pues los sacos del producto terminado pueden contener partículas de carbono al rojo vivo. Para impedir que se inicie una lenta incandescencia, el negro de carbón debe instalarse en un almacén de observación antes de su embarque o almacenamiento final. Está perfectamente establecido que el negro de carbón por sí solo, después de haberlo enfriado y aireado, si se calienta espontáneamente, aunque puede generar calor en presencia de aceites.

Los ensayos han demostrado que no hay riesgo de explosión de su polvo en suspensión. Ni metales al rojo, ni chispas eléctricas, ni tiras de magnesio ardiendo provocan la ignición explosiva de las nubes de polvo, pero se ha conseguido su ignición con 28,35 gramos de pólvora.

El negro de carbón representa el 98% de la producción mundial de carbono en polvo.

3.2) Negro de Humo

El negro de humo se forma por la combustión de aceites pesados de baja calidad u otros materiales carbonáceos similares, con aire insuficiente. Absorbe gases en proporción importante y frecuentemente entra en ignición espontánea, sobre todo cuando está recién metido en sacos. Tiene gran afinidad con los líquidos y se calienta en contacto con aceites secantes. La posibilidad de que se produzcan explosiones de polvo de negro de humo aumenta en presencia del aceite no acabado de consumir que se adhiere al carbón.

Puede existir un riesgo de explosión de polvos si el contenido del aceite excede del 13%. El negro de humo debe enfriarse totalmente antes de ser metido en sacos y debe, almacenarse en zona fresca y seca y alejada de materiales oxidantes.

3.3) Sulfocianato de Plomo

El sulfocianato de plomo arde lentamente. Se descompone al calentarse produciendo disulfuro de carbono (muy inflamable y tóxico) y dióxido de azufre (muy tóxico, pero no inflamable).

3.4) Nitroanilina

Este sólido combustible funde a 146°C y su punto de inflamación es 199°C. En presencia de humedad nitrifica las materias orgánicas y puede llevarlas a su ignición espontánea.

3.5) Nitroclorobenceno

El nitroclorobenceno es una materia sólida a temperaturas ordinarias que produce vapores inflamables cuando se calienta.

3.6) Sulfuros

3.6.1) Pentasulfuro de Antimonio

Su ignición se produce fácilmente y es peligroso su contacto con materias oxidantes. En contacto con los ácidos fuertes, el pentasulfuro de antimonio desprende sulfuro de hidrógeno.

3.6.2) Pentasulfuro de Fósforo

Entra fácilmente en ignición, y en presencia de humedad puede calentarse espontáneamente hasta su temperatura de ignición (142°C). Los productos de combustión de esta sustancia incluyen el dióxido de azufre y el pentóxido de fósforo, ambos altamente tóxicos. La reacción del pentasulfuro de fósforo con agua produce sulfuro de hidrógeno.

3.6.3) Sesquisulfuro de Fósforo

Con una temperatura de ignición de sólo 100°C, este producto químico entra en ignición fácilmente y se considera muy inflamable. Un producto de su combustión es el dióxido de azufre, altamente tóxico.

3.6.4) Sulfatos de Potasio y de Sodio

Son sólidos moderadamente inflamables que forman el muy tóxico dióxido de azufre cuando arden, y el sulfuro de hidrógeno en contacto con ácidos.

3.7) Azufre

A temperaturas ordinarias, el azufre es un sólido o un polvo amarillo compuesto de cristales romboidales que se funden aproximadamente a los 112°C, según su pureza. Hierve alrededor de los 444°C. Excepto en pequeñas cantidades, se suele transportar y almacenar en forma de líquido a temperaturas inferiores a los 150°C. Es combustible, y su vapor forma mezclas explosivas con el aire (su punto de inflamación es de 207°C). El polvo de azufre muy fino comporta igualmente riesgo de explosión, y exige una minuciosa atención durante su almacenamiento y manejo. Las temperaturas de ignición de las nubes de polvo varían a partir de los 190°C hacia arriba.

El azufre contiene cantidades variables de hidrocarburos que reaccionan gradualmente con el material fundido para formar el sulfuro de hidrógeno, muy tóxico y combustible. Los depósitos de almacenamiento o los pozos para el azufre fundido deben estar ventilados para

impedir la acumulación de este gas. La ignición espontánea del azufre es prácticamente desconocida, excepto si se encuentra en presencia de negro de humo, negro de carbón, carbón vegetal o algunas otras sustancias menos comunes. Cuando se incendia, se funde y fluye en forma de ríos, produciendo grandes cantidades de dióxido de azufre, sofocante, irritante y altamente tóxico. Este gas ataca a los ojos y a la garganta y hace muy complicada la lucha contra el fuego. El azufre también forma mezclas altamente explosivas y fácilmente detonantes con los cloratos y percloratos y, mezclado con el nitrato de potasio y el carbón vegetal, es un ingrediente de la pólvora.

3.8) Naftalina

La naftalina es combustible, tanto en forma líquida como sólida. Los vapores de naftalina y sus polvos forman mezclas explosivas con el aire.

4) PRODUCTOS QUÍMICOS INESTABLES

Ciertos productos químicos se descomponen o polimerizan espontáneamente, o tienen otro tipo de reacción interna en presencia de algún material catalítico o incluso estando puros. Estas reacciones pueden ser violentas.

4.1) Acetaldehído

El acetaldehído es un compuesto altamente reactivo. En condiciones favorables, el oxígeno o algún hidrógeno puede ser sustituido. Sufre numerosas reacciones de condensación, adición y polimerización que pueden dar lugar a una violenta explosión.

Acrilato de etilo y de metilo, metacrilato de metilo y cloruro de vilideno: Son líquidos inflamables que pueden polimerizarse a elevadas temperaturas, así como en condiciones de incendio. Si la polimerización tuviese lugar en un envase cerrado, éste podría romperse violentamente. Estos líquidos contienen usualmente un inhibidor que impide la polimerización.

4.2) Oxido de Etileno

El óxido de etileno puede polimerizarse violentamente en presencia de catalizadores como cloruros anhídridos de hierro, estaño o aluminio; óxido de hierro (es decir, herrumbre) y de aluminio, así como de hidróxidos de metales alcalinos. Su polimerización violenta se puede iniciar por calor o impacto. Reaccionan con los alcoholes, los ácidos orgánicos e inorgánicos y muchos otros compuestos. El calor liberado por estas reacciones exotérmicas puede causar la polimerización del óxido de etileno no reactivado. Sus vapores pueden detonar en presencia de alguna fuente de calor. Los vapores de óxido de etileno contenidos en un depósito expuesto al fuego pueden calentarse rápidamente hasta su temperatura de ignición, a no ser que dicho depósito se humedezca con agua pulverizada. Los límites de inflamabilidad del óxido de etileno en el aire van del 3 al 80%. Aunque se dice, con frecuencia, que el límite superior es del 100%, esto se debe a que se producen explosiones de mezclas que contienen más del 80% de óxido de etileno, como resultado de su descomposición química.

4.3) Cianuro de Hidrógeno

El cianuro de hidrógeno es inflamable y venenoso. En estado líquido o de vapor tiende a polimerizarse. Los catalizadores para este tipo de reacción son las materias alcalinas y como uno de los productos de la reacción de polimerización es alcalino (amoníaco), existe la posibilidad de una reacción explosiva. Añadiendo ácido sulfúrico, fosfórico o algún otro que neutralice el amoníaco, la velocidad de polimerización del líquido puede reducirse y resultar controlable. El cianuro de potasio y el cianuro de sodio emiten vapor de cianuro de hidrógeno, venenoso e inflamable, en contacto con ácidos.

4.4) Nitrometano

Es un combustible, a 315°C y 6.308 kPa se descompone explosionando. En las cataratas del Niágara, y en el monte Pulaski, se produjeron detonaciones de nitrometano en el interior de cisternas a bordo de vagones de ferrocarril, en 1958.

4.5) Peróxidos Orgánicos

Los peróxidos orgánicos forman un importante grupo de productos químicos muy empleados en la industria del plástico como iniciadores de reacciones de polimerización; en la industria de harinas de cereales, como blanqueadores; en la industria química y farmacéutica, como catalizadores. Los peróxidos orgánicos son combustibles y, como los peróxidos inorgánicos, incrementan la intensidad del fuego. Muchos peróxidos orgánicos pueden descomponerse por el calor, el impacto o la fricción, dependiendo la velocidad de descomposición del tipo de peróxido de que se trate y de la temperatura. Algunos, como el peróxido de metil-etilcetona, son detonables. Los peróxidos orgánicos pueden encontrarse en forma líquida (perbenzoato de t-butilo) o sólidos (peróxido de benzoilo); muy frecuentemente están disueltos en disolventes inflamables o combustibles. Los peróxidos orgánicos son combustibles por sí mismos e, igual que los inorgánicos, aumentan la intensidad del fuego. Los peróxidos se encuentran frecuentemente húmedos con agua o diluidos con líquidos estables. En sus soluciones existe la posibilidad de que se formen cristales sensibles en tiempo frío.

4.5.1) Peróxido de Benzoilo

Sin diluir, el peróxido de benzoilo entra en ignición muy fácilmente y arde con gran rapidez, comparable a la combustión de una cantidad equivalente de pólvora negra. La descomposición por calor es rápida y si está contenido en un envase cerrado, se produce una descomposición explosiva cuando se calienta. Esta descomposición puede también iniciarse por un impacto fuerte o por calor de fricción. El peróxido de benzoilo se transporta diluido o humedecido en agua para reducir su riesgo de incendio.

4.5.2) Peróxidos de Eter

Durante su almacenamiento, prácticamente todos los éteres forman peróxidos de éter. Si la mezcla del peróxido y del éter se calienta o se concentra, el peróxido puede detonar. En ciertas clases de éteres, las cantidades de peróxido que se forman son demasiado pequeñas para ser tomadas en consideración. La formación de peróxido es una propiedad peligrosa del éter etílico, del éter de etilo y de butino terciario, del éter de etilo y de amilo terciario y de los

éteres de isopropilo. Se dice que el éter de isopropilo es mucho más susceptible a la formación de peróxidos que los otros éteres. El éter puro, seco, almacenado en condiciones de laboratorio, en una botella incolora, crea cantidades detectables de peróxido en un mes. La luz parece ser un factor más importante que el calor, aunque se ha comprobado que se pueden formar peróxidos en botellas de color ámbar. El éter contenido en recipientes sellados y chapados de cobre o en alguna otra forma de recipientes inhibidos no forma fácilmente peróxidos. Aunque no parece haber ningún medio disponible todavía para eliminar completamente la formación de peróxidos, se puede lograr suficiente estabilidad práctica empleando alguno de los numerosos inhibidores patentados o bien, simplemente, cobre o hierro, almacenándolos al mismo tiempo en recipientes metálicos o de cristal opaco. El éter no debe destilarse en seco a no ser que se demuestre que no contiene peróxidos.

4.6) Estireno

El estireno se polimeriza lentamente a temperaturas ordinarias. Su velocidad de polimerización aumenta con la temperatura. La reacción de polimerización al ser exotérmica, puede llegar a ser violenta al irse acelerando por su propio calor. Para impedir esta polimerización peligrosa se le agregan inhibidores.

4.7) Cloruro de Vinilo

El cloruro de vinilo es un gas inflamable que puede polimerizarse a temperaturas elevadas, como las de un incendio, produciendo rotura violenta del recipiente. Generalmente, contiene un inhibidor para impedir su polimerización.

5) PRODUCTOS QUÍMICOS QUE REACCIONAN CON EL AIRE Y EL AGUA

Los productos químicos que reaccionan con el aire y con el agua presentan importantes riesgos de incendios.

Durante las reacciones se liberan grandes cantidades de calor. Si el producto químico es combustible, puede producirse su autoignición; si no es combustible, el calor de la reacción puede ser suficiente para producir la ignición de materiales combustibles próximos.

5.1) Alcalis (cáusticos)

La soda cáustica (hidróxido de sodio o lejía) y la potasa cáustica (hidróxido de potasio) son los álcalis más comunes. Los cáusticos no son combustibles, pero si se mezclan con agua generan calor. En contacto con el agua, los productos cáusticos secos reaccionan fácilmente. El calor generado (calor de disolución) puede bastar para producir la ignición de otros materiales combustibles. Las disoluciones de productos cáusticos pueden generar hidrógeno en contacto con el zinc, los metales galvanizados y el aluminio.

5.2) Compuestos Trialquílicos de Aluminio

La mayor parte de estos compuestos orgánicos metálicos son pirofóricos, es decir, entran en ignición espontáneamente en contacto con el aire y reaccionan violentamente con el agua y con otros productos químicos. El trietilo de aluminio, que es el compuesto más común de este grupo,

entra en ignición espontánea en el aire y en contacto con el agua. Cuando se mezcla con agentes oxidantes fuertes o con hidrocarburos halogenados, pueden producirse violentas reacciones o detonaciones.

5.3) Anhídridos

Los anhídridos de ácidos son compuestos derivados de los ácidos que han perdido sus moléculas de agua. Suelen reaccionar violentamente con el agua para regenerar los ácidos. Los anhídridos de ácidos orgánicos son combustibles y generalmente presentan más riesgos que sus ácidos correspondientes, puesto que sus puntos de inflamación son más bajos. El anhídrido acético tiene un punto de inflamación de 54°C, el anhídrido propiónico de 74°C (en vaso abierto), el butírico de 188°C (en vaso abierto) y el maleico de 103°C. Los anhídridos de ácidos inorgánicos, como el anhídrido de cromo y el anhídrido de fósforo, no son combustibles.

5.4) Carburos

Los carburos de algunos metales, como el sodio y potasio, pueden reaccionar explosivamente en contacto con el agua. Muchos de ellos, como los carburos de calcio, litio, potasio y bario, se descomponen en el agua formando acetileno. Además del riesgo de formar un gas inflamable, algunos carburos presentan otro riesgo de incendio al generar calor en contacto con el agua. Al añadir un tercio de su peso de agua a uno de estos carburos, la temperatura puede aumentar suficientemente para producir la ignición del gas generado. El carburo de sodio se calienta hasta el punto de incandescencia cuando entra en contacto con el cloro, dióxido de carbono o dióxido de azufre. Los carburos de silicio y de tungsteno son muy estables.

5.5) Carbón Vegetal

En ciertas condiciones, el carbón vegetal reacciona con el aire a una velocidad suficientemente alta como para calentarse espontáneamente y entrar en ignición. Los carbones vegetales obtenidos a partir de maderas duras en retortas suelen ser especialmente peligrosos. El calentamiento espontáneo se produce más fácilmente en el carbón recién hecho que en el material viejo; cuanto menores sean las partículas en que esté fragmentado, mayor es el riesgo. Las causas principales del calentamiento espontáneo del carbón vegetal parecen ser: (1) ausencia de suficiente enfriamiento y aireación antes de su embarque; (2) la humidificación del carbón; (3) la fricción en la molturación de los polvos más finos, particularmente del material que no ha sido suficientemente aireado antes de la molturación, y (4) la carbonización de la madera a temperatura demasiado baja, lo que produce un carbón con una condición química inestable.

5.6) Carbón

Cualquier clase de carbón, excepto la antracita de gran calidad, puede sufrir un calentamiento espontáneo y su posterior ignición en determinadas condiciones. No están perfectamente definidas las causas básicas del calentamiento espontáneo del carbón; sin embargo, se cree que la principal es la absorción de oxígeno o la oxidación de sus partículas finamente divididas. Aunque los casos de calentamiento espontáneo de carbón son numerosos, el número de incendios debido a esta causa es insignificante en relación con las grandes cantidades de almacenamiento de carbón existentes.

Las principales condiciones que se cree que influyen en la susceptibilidad del carbón al calentamiento espontáneo son: (1) el tamaño de las partículas; (2) la capacidad de absorción de oxígeno de las partículas; (3) el contenido de humedad encerrado en el carbón; (4) el aire atrapado en los huecos de los montones de carbón; (5) la presencia de azufre en forma de piritas o marcasitas; (6) los gases libres contenidos en las pilas; (7) las sustancias extrañas contenidas en las pilas; (8) el método y profundidad del apilamiento; (9) la temperatura de las paredes y del piso de contención o de las superficies circundantes o circundadas, y (10) el tipo y cantidad de ventilación.

5.7) Hidruros

La mayor parte de los hidruros son compuesto de hidrógeno y metales. Los hidruros metálicos reaccionan con el agua para formar hidrógeno.

5.7.1) Hidruro de Sodio

El hidruro de sodio es un polvo blanco grisáceo, cristalino y de fácil fluencia que entra en ignición con violencia explosiva al contacto con el agua. Al exponerse al aire, la absorción de humedad puede causar su ignición.

5.7.2) Hidruro de Litio

Cuando este sólido combustible reacciona enérgicamente con el agua, produce hidrógeno y calor. El polvo de hidruro de litio explota fácilmente en el aire húmedo. La electricidad estática puede hacer que dicho polvo explote en aire seco.

5.7.3) Hidruro de Aluminio y Litio

Como el hidruro de litio, este producto es un sólido combustible que reacciona rápidamente con el agua, produciendo hidrógeno y calor. El calor puede causar la ignición del hidrógeno. Si el hidruro de aluminio y litio se encuentra disuelto en éter, un fuego que afecte a esta disolución se comporta esencialmente como un incendio de éter. Pequeñas cantidades de agua pueden hacer que el fuego se intensifique. Los materiales combustibles sobre los que se haya derramado una pequeña cantidad de dicha disolución pueden entrar en ignición espontáneamente o mediante una ligera fricción.

5.8) Oxidos

Los óxidos metálicos y no metálicos reaccionan con el agua formando álcalis y ácidos, respectivamente. Esta reacción tiene lugar violentamente en el caso del poco frecuente óxido de sodio. El óxido de calcio, más conocido vulgarmente como cal viva, también reacciona violentamente con el agua, produciendo, bajo determinadas condiciones, suficiente cantidad de calor para la ignición del papel, madera u otras materias combustibles.

5.9) Fósforo

Se emplean comúnmente dos formas de fósforo, blanco y rojo.

5.9.1) Fósforo Blanco (o amarillo)

Es el más peligroso, debido a su fácil oxidación e ignición espontánea en el aire. Es práctica común transportar y almacenar el fósforo blanco dentro de agua, encerrando la mezcla herméticamente en un recipiente de metal sellado. Deben realizarse comprobaciones periódicas para asegurar que el recipiente no tiene fugas. El fósforo blanco es muy tóxico y no debe permitirse su contacto con la piel. Cuando entra en ignición, se desprenden densas nubes blancas de vapores tóxicos que atacan a los pulmones.

5.9.2) Fósforo Rojo

Es menos peligroso que el blanco, no se oxida ni arde a temperaturas ordinarias y puede transportarse y almacenarse sin necesidad de protegerlo con agua, aunque debe mantenerse en recipientes cerrados y apartados de agentes oxidantes. Se forma por calentamiento del fósforo blanco. La forma sólida no es tóxica, pero una vez que se vaporiza adquiere todos los riesgos de incendio del fósforo blanco, en el cual se convierte al condensarse. Debe tenerse suma precaución al abrir los recipientes de fósforo rojo, pues se tienen noticias de algunas igniciones espontáneas al quedar en contacto con el aire.

5.10) Sodio

Vea el apunte de Metales Combustibles.

5.11) Hidrosulfito de Sodio

El hidrosulfito de sodio arde lentamente, y uno de los productos de esta combustión es el dióxido de azufre. Al contacto con la humedad y con el aire, el hidrosulfito de sodio se calienta espontáneamente y puede producir la ignición de materias combustibles que se encuentran en sus cercanías.

6) PRODUCTOS QUÍMICOS CORROSIVOS

El término corrosivo, tal como aquí se emplea, se aplica a los productos químicos que tienen un efecto destructivo sobre los tejidos vivos. Generalmente se trata de fuertes agentes oxidantes, pero se clasifican independientemente como productos químicos corrosivos para destacar los efectos lesivos que producen al contacto o por inhalación. No debe inferirse que un producto no sea lesivo simplemente porque venga catalogado en otro lugar. Los productos cáusticos que se clasifican como reactivos al agua y al aire también son corrosivos. *Debe tenerse cuidado de evitar la inhalación, ingestión o contacto con todos los productos químicos, a no ser que se sepa que son inofensivos.*

6.1) Ácidos Inorgánicos

Las soluciones acuosas concentradas de ácidos inorgánicos no son por sí solos combustibles. Su principal peligro reside en el riesgo de escapes y posible mezcla con otros productos o materias combustibles que existan en sus cercanías, a lo que, en algunos casos, puede seguir el incendio o la explosión.

6.1.1) Acido Clorhídrico

En solución concentrada, el ácido clorhídrico es peligroso, porque su reacción con ciertos metales como el estaño, hierro, zinc, aluminio y magnesio, produce gas hidrógeno. Con agentes oxidantes potentes emite gas de cloro; la mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico genera cloro y óxido nitroso.

6.1.2) Acido Fluorhídrico

El ácido fluorhídrico, tanto en estado anhidro como acuoso, no es combustible y no causa la ignición de las materias combustibles con las que entre en contacto. Sin embargo, ataca los metales, generando hidrógeno. Es muy tóxico e irritante para los ojos y puede producir graves quemaduras en la piel.

6.1.3) Acido Nítrico

En ciertas condiciones, el ácido nítrico nitrifica las materias celulósicas. Así, la madera que entre en contacto con el ácido o su vapor puede incrementar notablemente su facilidad de ignición. Si una disolución concentrada de este ácido se mezclase con materias orgánicas se produciría un calentamiento espontáneo. En general, el ácido nítrico concentrado nitrifica los materiales orgánicos, mientras que el ácido diluido los oxida produciendo, al mismo tiempo, óxidos de nitrógeno durante el proceso. Estos vapores de óxido (entre incoloros y marrones) están generalmente presentes en los incendios de los edificios donde se emplea ácido nítrico. Una concentración de este gas (en realidad suele ser una mezcla de varios gases), tan pequeña que no parezca importante en el momento de su inhalación, puede provocar graves enfermedades, e incluso la muerte, aunque no se sientan sus efectos durante cierto tiempo. El ácido nítrico fumante (vapores blancos), con una concentración de más de 97,5%, puede detonar si se derrama sobre gasolina inflamada.

6.1.4) Acido perclórico

El ácido perclórico puede ser extremadamente peligroso si se emplea mal o si se encuentra en concentraciones superiores al 72%. En la concentración comercial normal (72%), es un fuerte agente oxidante y deshidratante cuando se calienta, pero un ácido no oxidante a temperaturas ambiente. Debido a ésta y a otras propiedades ventajosas, se emplea mucho en los laboratorios de análisis. La velocidad de combustión de las sustancias orgánicas se ve notablemente aumentada a su contacto. Se han producido explosiones en las campanas de extracción de madera o de plástico expuestas durante largo tiempo a sus vapores. Los fuertes agentes deshidratantes, como el ácido sulfúrico deshidratado o el pentóxido de fósforo, convierten la disolución de este ácido en ácido perclórico anhidro, que se descompone incluso a temperaturas ambientes y explota con terrible violencia, aunque también explota al contacto con muchas sustancias orgánicas. Por estas razones, los agentes deshidratantes nunca deben mezclarse con él.

6.1.5) Acido Sulfúrico

Este producto químico posee la peligrosa propiedad adicional de absorber el agua de las materias orgánicas con las que entra en contacto. En estos casos se presenta una cierta

carbonización con producción de calor suficiente para la ignición. Debe tenerse mucho cuidado para evitar las dolorosas quemaduras que produce por contacto. El ácido sulfúrico diluido puede disolver los metales, con producción de hidrógeno.

6.2) Los Halógenos

Los miembros del grupo halógeno (productores de sal) son productos químicos activos con propiedades químicas similares; los elementos simples como flúor, cloro, bromo y yodo difieren unos de otros en que su actividad es descendente en el orden en el que se citan, siendo los dos últimos los que presentan menor riesgo de incendio. Son incombustibles, pero permiten la combustión de ciertas sustancias. El aguarrás, el fósforo y los metales finamente divididos entran en ignición espontánea en presencia de halógenos. Sus vapores son venenosos, corrosivos e irritantes para ojos y garganta.

6.2.1) Bromo

Es un líquido corrosivo de color marrón rojizo oscuro que puede causar fuego si entra en contacto con materias combustibles.

6.2.2) Cloro

Es un gas pesado, venenoso, de color verde amarillento, que emana de algunos procesos industriales y de los polvos de blanquear (cloruro de cal), especialmente en presencia de ácidos fuertes. No es inflamable por sí solo, pero puede iniciar incendios o explosiones, especialmente si entra en contacto con acetileno, amoníaco, aguarrás, hidrocarburos o metales reducidos a polvo fino. A 251°C el acero suave se inflama y arde en cloro. En cualquier proceso donde se genere este gas es primordial disponer de una ventilación apropiada.

6.2.3) Flúor

Es un gas amarillo verdoso, y uno de los elementos más reactivos que se conocen; en condiciones favorables se combina, casi siempre espontáneamente, con prácticamente todos los elementos y compuestos conocidos. Reacciona violentamente con el hidrógeno y con muchas materias orgánicas, explota en contacto con polvos metálicos, ataca al cristal y a la mayor parte de los metales y reacciona explosivamente en contacto con el vapor de agua. Se puede manipular sin riesgos en el interior de bombonas de níquel o de metal monel porque, aunque reacciona con estos metales, forma una capa protectora de fluoruro de níquel que impide que prosiga su acción. Sin embargo, la humedad y otras impurezas del interior de la bombona pueden causar reacciones tan violentas que el metal llega a fundirse y el flúor entra en ignición. En este caso, el depósito estalla y lanza el metal fundido en todas direcciones.

6.2.4) Yodo

Producto químico que se encuentra generalmente en forma de cristales volátiles corrosivos de color negro púrpura. Los informes indican que el yodo es explosivo cuando se difunde con el amoníaco (forma el explosivo llamado triyoduro de nitrógeno), y cuando se mezcla con aguarrás o trietilo de plomo.

7) MATERIALES RADIATIVOS

Los elementos y compuestos radioactivos presentan riesgos de fuego y explosión idénticos a los de los mismos productos no radiactivos. No obstante, se introduce un riesgo adicional, debido a los diversos tipos de radiación que emiten, que son capaces de causar serios daños a los tejidos vivos. Así, en condiciones de incendio, los vapores o polvos (humos) que se formen pueden contaminar no sólo el edificio principal, sino el edificio vecino y los espacios exteriores. La principal preocupación en protección contra incendios es impedir la emisión o pérdida del control sobre estos materiales durante un incendio y su extinción.

7.1) Protección Contra Incendios de Materiales Radiactivos

El escape de polvos y vapores radioactivos que se produce durante un incendio implica gran riesgo para la vida humana; es decir, de vital importancia, pues, que se den todos los pasos para impedir el incendio de estos materiales. La radiactividad no es detectable por los sentidos humanos; es necesario el empleo de instrumentos y técnicas de medición especiales para identificar y evaluar. La magnitud del riesgo depende del estado sólido, líquido o gaseoso de la materia radioactiva y del recipiente en que se conserva o manipula.

La radiactividad puede causar lesiones, pérdida de vidas y daños o desperfectos en los materiales, equipos y edificios. El combate de estos incendios por medio manuales puede estar limitado por el peligro a que se exponen los bomberos, y el trabajo de recuperación y de reanudación de las operaciones normales pueden sufrir grandes retrasos cuando se ha perdido el control sobre las sustancias radioactivas. La necesidad de descontaminar edificios, equipos y materiales plantea complicados problemas.

El humo y los productos de la combustión de incendios ocurridos en lugares donde existan materias radioactivas, así como el agua derramada para combatirlos, deben contenerse. Los bomberos necesitan ropa protectora y equipo especial de respiración y la lucha contra el fuego debe estar totalmente planificada de antemano. Ante los riesgos de radiación, es preferible el empleo de rociadores automáticos a métodos de lucha manual contra el fuego.

MOVIMIENTO Y CONTROL DEL HUMO

INDICE

- 1) DEFINICIONES
- 2) DESCRIPCIÓN
- 3) MOVIMIENTO DE HUMO
- 4) CONTROL DE HUMOS
 - 4.1) Extracción
 - 4.2) Dilución
 - 4.3) Confinamiento

En un incendio se producen humos que son la causa principal de las pérdidas humanas ocasionadas por dicho incendio.

Tanto el movimiento de humo como de los gases de combustión dependen de una serie de condicionantes. Estos son, por una parte, los elementos constructivos y de compartimentación y, por otra, los fenómenos propios del fuego tales como incrementos de temperaturas y las diferencias de presiones.

Dentro de un edificio, el mayor peligro es la fácil propagación del humo por todo el espacio no compartimentado adecuadamente y, por tanto, por aquellos medios o vías de escape verticales de evacuación que deberían estar en condiciones de permitir la libre circulación de los ocupantes de dicho edificio.

1) DEFINICIONES

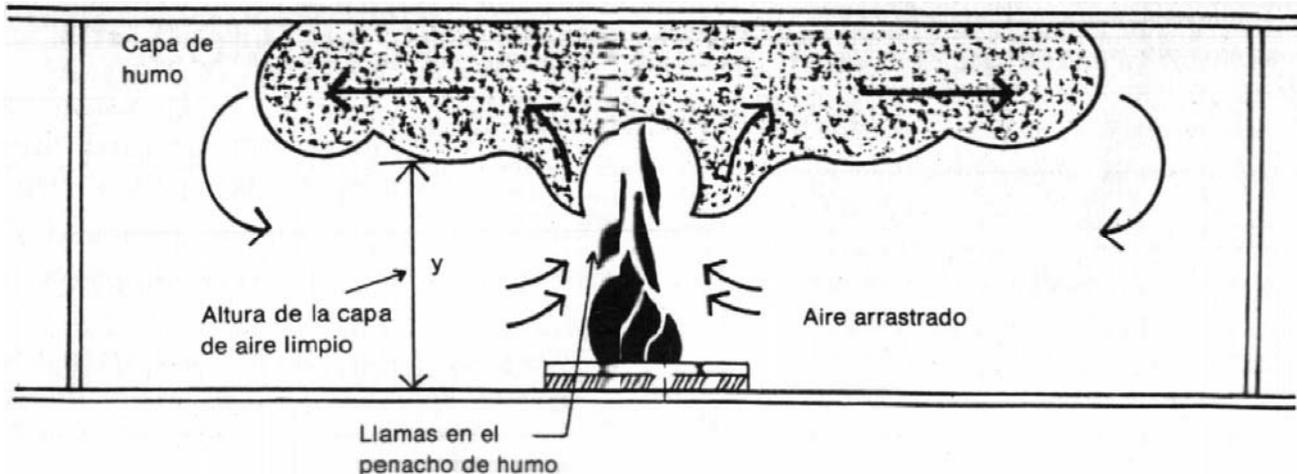
- **Barrera de Humo:** elemento constructivo vertical u horizontal, especialmente diseñado para controlar el movimiento del humo.
- **Densidad óptica:** medida de la fracción de luz que se transmite a través de una atmósfera de humo en una determinada distancia. También se utiliza para estimar objetivamente la pérdida de visibilidad en un incendio.
- **Efecto Chimenea:** movimiento de aire producido en conductos verticales por las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior del edificio.
- **Exutorio:** claraboya situada en cubiertas o techos cuya apertura o cierre permite el control del humo producido por un incendio. Puede tener accionamiento manual y automático.
- **Gases de combustión:** gases que resultan de la combustión de los combustibles incendiados.
- **Humo:** conjunto visible de partículas sólidas y líquidas en suspensión en el aire, o en los productos visibles, resultantes de una combustión o pirólisis.
- **Presurización:** método de control del humo mediante diferencias de presión.
- **Productos volátiles de combustión:** conjunto de materia gaseosa, vapores y aerosoles sólidos en suspensión generados por combustión o pirólisis.
- **Ventilador:** elemento destinado a provocar la circulación del aire u otros gases.

2) DESCRIPCIÓN

La producción de humo en un incendio varía en función de la cantidad y tipo de elementos combustibles que existan en el interior del edificio afectado. Según sea el volumen de humos, éstos podrán llegar a disminuir la visibilidad, lo que puede producir problemas graves en cuanto a la evolución y extinción del incendio. El humo puede ser más o menos denso, pero, en cualquier caso, contendrá partículas tóxicas que pueden perjudicar a las personas.

El volumen de humo y gases de combustión producido por el incendio es aproximadamente igual al volumen del aire arrastrado por el chorro ascendente de los productos de combustión y éste, a su vez, es función de la dimensión del fuego, el calor desprendido y la altura de la capa de aire limpio.

Tanto la dimensión del fuego, como la distancia entre el piso y la capa inferior de humo y gases calientes, varían constantemente y, por consiguiente, es prácticamente imposible determinar o predecir la producción de humo en un incendio. Por ello, es necesario estudiar el movimiento del humo y de los gases de combustión, con el fin de poder controlarlo.



3) MOVIMIENTO DE HUMO

El humo sigue normalmente la circulación del aire, pero, durante un incendio, la propagación se ve afectada por los siguientes factores:

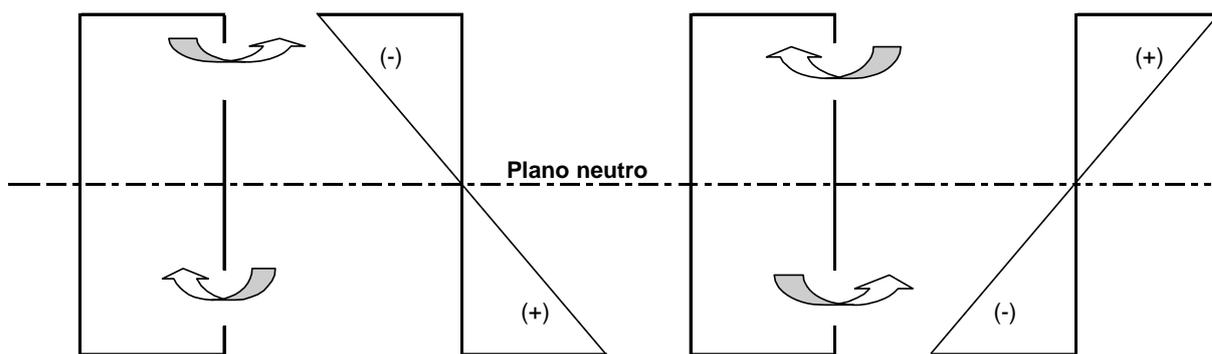
- Altas temperaturas
- Efecto chimenea
- Condiciones ambientales de aire y temperatura
- Sistemas de acondicionamiento de aire

Las altas temperaturas producidas en un incendio originan la expansión de los gases, llegando a ocupar tres veces el volumen inicial y obligando a que el humo salga de recinto. A medida que la temperatura se incrementa, los gases producidos irán ocupando un mayor volumen, efectuándose la propagación de éstos a otras zonas vecinas, donde los gases calientes se enfriarán contrayéndose a su volumen original. Sin embargo, aunque los gases desplazados acaban por enfriarse a la temperatura ambiente, el efecto de la expansión, mientras duran las condiciones de incendio, se traduce en un aumento del volumen de humo desplazado.

La forma geométrica del edificio y la disposición de los espacios tiene gran influencia sobre el movimiento del humo. En los edificios considerados como de gran altura el efecto principal que origina la propagación del humo es el efecto chimenea.

El efecto chimenea es el que produce el movimiento vertical del aire originado por las diferencias entre la temperatura interior y exterior del edificio. De esta forma, en un edificio de desarrollo vertical se produce una corriente ascendente desde la planta baja a la última.

Si existe únicamente un edificio con una temperatura interior T_i exterior T_e y con dos aberturas, una en la planta inferior y otra en la superior, se producen distintas corrientes de aire, debido a la diferencia de peso entre la columna de aire en el interior y en el exterior. Cuando la temperatura interior es mayor que la exterior se produce un movimiento vertical, debido a que la presión exterior en la abertura inferior es mayor, por lo que se originará una entrada de aire por la misma, dando lugar al movimiento ascendente.



Si las temperaturas exterior e interior son iguales, no se produce movimiento natural del aire.

El plano de presión neutra es aquel en el que no existen diferencias de presión y, por tanto, en caso de existir una abertura a ese nivel el aire ni entraría ni saldría del edificio. El aire entra en el edificio por las zonas situadas bajo el plano de presión neutra y sale por las zonas que están por encima de éste (siempre que la temperatura interior sea mayor que la exterior, $T_i > T_e$).

La posición del plano de presión neutra en un edificio sin ningún tipo de barrera horizontales y con dos aberturas, una interior (con una superficie A_1 y a una distancia h_1 al plano de presión neutra) y otro superior (A_2 , h_2), se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{A_2^2 \times T_e}{A_1^2 \times T_i}$$

En un edificio siempre existirá algún tipo de barreras horizontales que impedirán el libre movimiento. La mayor parte del aire fluye hacia huecos verticales (escaleras, ascensores, huecos entre forjados, etc.) y parte se filtrará piso a piso a través de los forjados. Este movimiento estará ocasionado por diferencias de presión entre pisos contiguos.

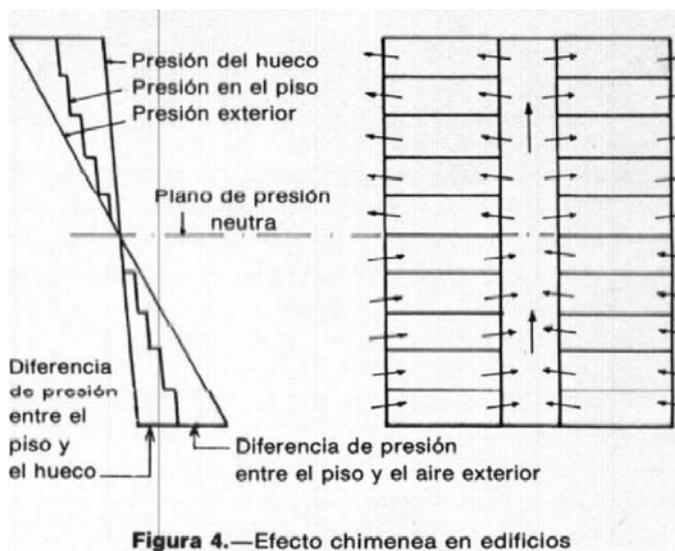


Figura 4.—Efecto chimenea en edificios

Las condiciones ambientales de aire y temperatura también influirán sobre el movimiento de humo dentro de un edificio, ya que aquéllas afectan al movimiento natural del aire en el mismo.

Al incidir un viento de cierta importancia sobre la fachada de un edificio, el plano de presión neutra se verá influenciado y modificado. La acción del viento originará un efecto aspirante en el hueco vertical debido a la presión negativa en la cubierta. El plano de presión neutra estará situado más cerca de dicha cubierta en la zona más afectada por el viento y, por el contrario, más alejada de la cara opuesta. De esta forma, se puede observar cómo las presiones positivas del viento elevan el plano de presión neutra, mientras que las negativas lo hacen descender.

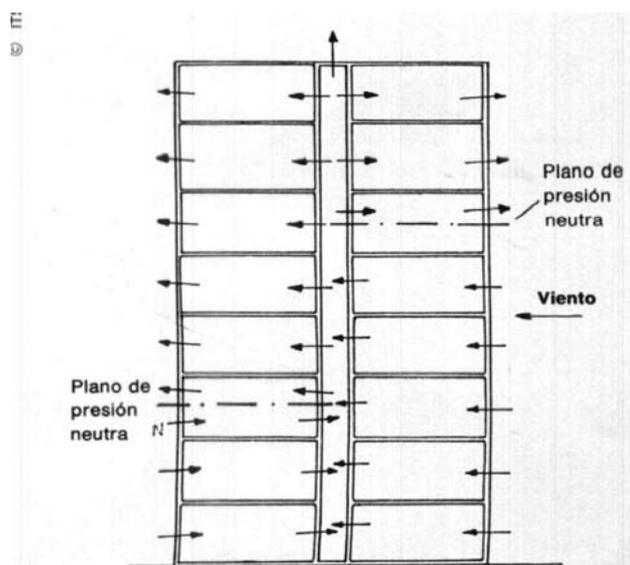


Figura 5.—Efectos del viento sobre la situación del plano de presión neutra.

Tanto el efecto chimenea como el creado por las elevadas temperaturas originadas en un incendio y las condiciones ambientales, hacen que exista una circulación natural del aire que afectará al movimiento del humo en caso de incendio.

Las aberturas de ventilación influirán notablemente en la situación del plano de presión neutra. Cuando existe un hueco vertical en su parte superior, el plano de presión neutra estará más cerca de la parte del edificio. Al desplazarse el plano de presión neutra hacia arriba, existirá un mayor número de pisos que estarán en sobrepresión con respecto al hueco de ventilación. De esta forma, aumentará el número de entradas al hueco y disminuirán las aberturas que actúan como salidas.

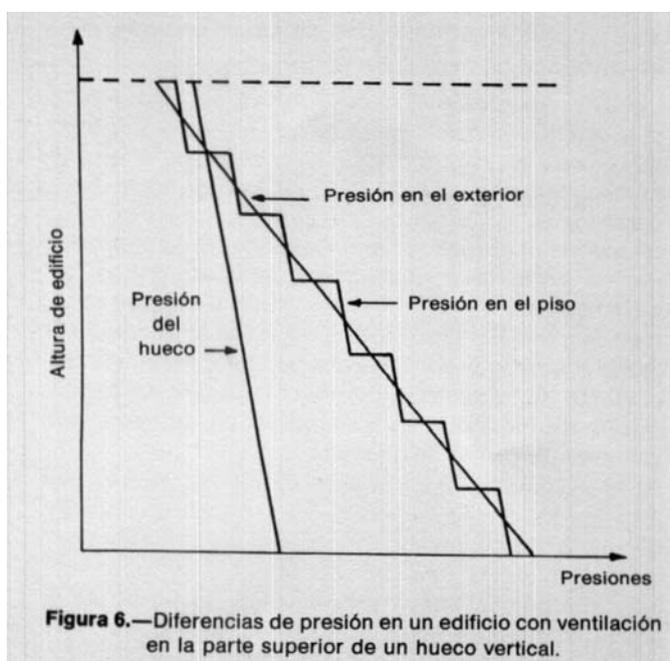
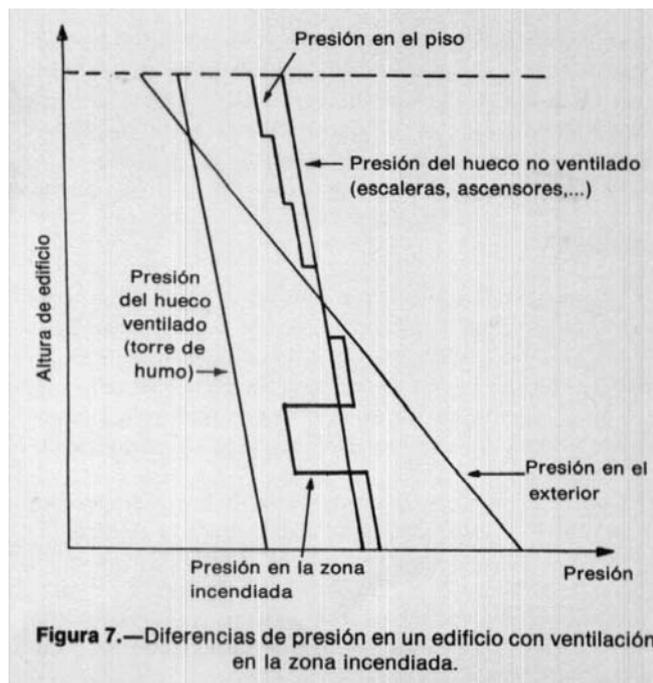


Figura 6.—Diferencias de presión en un edificio con ventilación en la parte superior de un hueco vertical.

Por el contrario, si se ventilara la parte inferior del hueco vertical, el plano de presión neutra descenderá, con lo que todo el edificio quedaría prácticamente invadido por el humo, ya que en este caso habría más plantas en depresión con respecto al hueco.

Si en el edificio existiera una torre de humos que ventilara la zona afectada por el incendio, se conseguiría que todos los pisos estuvieran en sobrepresión con respecto al conducto de humos. De esta forma, la zona del incendio quedaría en depresión respecto al resto del edificio, evitando así la circulación del humo y de los gases por dicho edificio, excepto por los conductos que han sido diseñados para tal fin.



También existirá influencia en el movimiento de humos cuando en el edificio haya un movimiento forzado producido por los sistemas de acondicionamiento de aire. Estos pueden, o no, estar diseñados como parte del sistema de control de humos en caso de incendio.

4) CONTROL DE HUMOS

El control de humos, en caso de incendio, puede ser utilizado como medida de protección de personas y de bienes materiales. La causa principal del número de pérdidas humanas no es sólo la invasión del humo en la zona afectada por el incendio, sino el que pueda afectar a los medios y vías de evacuación que necesitaran estar en condiciones de permitir la circulación de los ocupantes hasta un lugar suficientemente seguro.

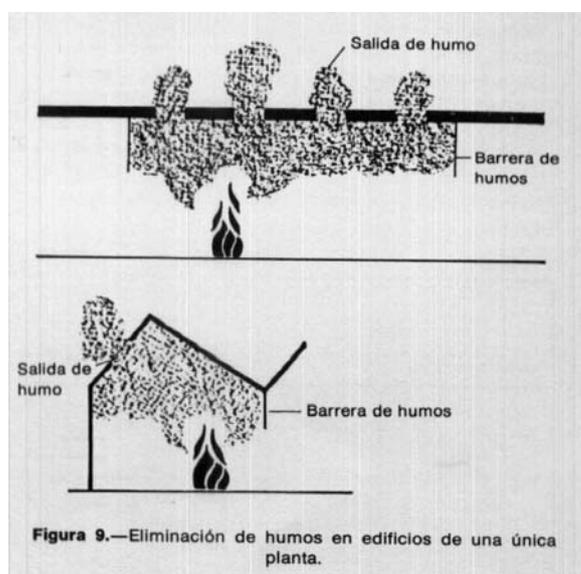
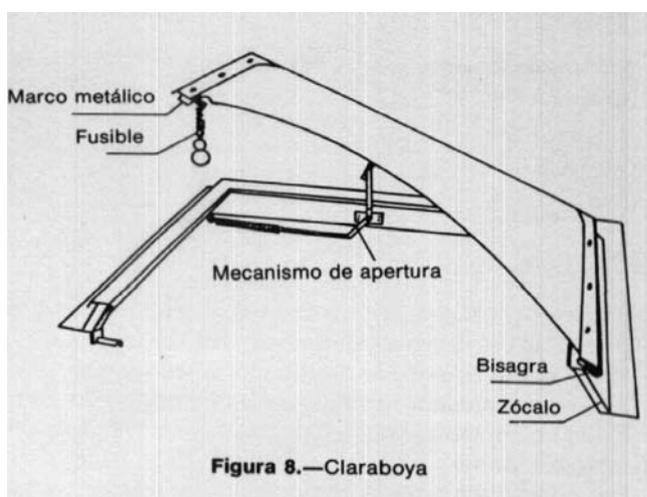
La forma de los edificios tiene gran influencia sobre el movimiento natural del aire, ya que éste se produce debido a las diferentes presiones creadas en el edificio.

- En un edificio subterráneo o sin ventanas, la circulación del aire dependerá, en gran medida, de la geometría del local.
- En un edificio industrial con una sola planta y de gran superficie, la circulación del aire se producirá principalmente por la ventilación natural y por las barreras físicas, tanto

horizontales como verticales, características que condicionarán el movimiento del humo en caso de incendio.

- En los edificios de poca altura y con un grado alto de compartimentación, los factores que más influirán para el control del humo son la ventilación natural y las barreras físicas.
- En edificios considerados como de gran altura los factores principales que condicionarán el movimiento del aire son el efecto chimenea y los equipos de manipulación de aire.

En edificios de tipo industrial de grandes superficies es recomendable la ventilación en cubierta a través de lucernarios, exutorios, claraboyas, etc., que, combinados con barreras horizontales o verticales, llegarán a crear recorridos de humo para su control o eliminación.



En edificios de poca altura el método que permite la eliminación del humo es la ventilación natural producida a través de ventanas y huecos que, junto con las presiones creadas en un incendio, son elementos suficientes para eliminar el humo existente en el edificio.

La eliminación y control del humo, tanto en el caso de edificios subterráneos como de gran altura, se deberá efectuar a través del movimiento forzado de aire, actuando sobre las diferencias de presión para llegar a conseguir la eliminación del humo mediante los siguientes efectos:

- Extracción
- Dilución
- Confinamiento

4.1) Extracción

La extracción del aire se consigue creando un gradiente de presión negativo en sentido ascendente a lo largo de un conducto vertical de salida, mediante ciclones o ventiladores cuyo arranque puede ser automático combinado con la detección o alarma de incendio o manual.

Los conductos para la eliminación del humo pueden ser específicos para este fin, denominados pozos o torres de humo, aunque en ocasiones puedan utilizarse canalizaciones de aire ya instaladas en el edificio. Este último procedimiento no es recomendable a no ser que se utilice como complemento de otras instalaciones.

Las torres o pozos de humo son conductos especialmente diseñados para la eliminación del humo y gases de combustión producidos por un incendio. Dichos conductos verticales recorren el edificio y a nivel de cada planta se dispone de trampillas que permiten la circulación de los humos y gases para su extracción. Las trampillas serán de apertura automática y se conectarán simultáneamente con el arranque de los medios mecánicos de extracción de la torre de humo.

Esta forma de extracción del humo mediante extracción es la más recomendada para el caso de edificios subterráneos y con escasa ventilación. Para los edificios altos se recomienda el método de extracción combinado con otros, como el de presurización.

4.2) Dilución

La dilución del aire contaminado, con aire limpio no es un método para producir un movimiento forzado del aire, sino una manipulación del mismo.

Este método permitirá reducir la concentración de humos y gases, de modo que se alcance una dilución tal que sea tolerado para las personas y no se pierda la visibilidad.

En general, el humo producido en un incendio, denso y sin diluir, puede alcanzar una densidad óptica por metro de valor 10, y en ocasiones, mayor. Esto implica que la visibilidad es casi nula (10 cm aproximadamente).

Para un medio de evacuación la densidad aceptable es de 5 metros, como mínimo, lo que representa una densidad óptica por metro, máxima, de 0,2. Para alcanzar este nivel será preciso diluir el humo 50 veces.

4.3) Confinamiento

El tercer método para forzar el movimiento del humo consiste en confinarlo dentro de recintos o zonas donde su presencia no sea perjudicial. Por ello, la mejor situación y a la que deberá tenderse, es la de retener el aire contaminado por el incendio en el recinto donde éste ha tenido lugar.

Para conseguir que el humo y los gases de combustión queden en la zona afectada se emplean dos procedimientos:

- Barreras físicas.
- Presurización

Las barreras físicas son obstáculos materiales al paso del aire que hacen que se concentre o circule el humo según los pasos o secciones destinadas a ello. Las barreras no constituyen por sí mismas un método de control de humo, pero, junto con el método de presurización, consiguen una gran eficacia.

El método de presurización consiste en establecer un diferencial de presión positivo entre la atmósfera del espacio que se desea proteger de humos y el resto.

Este sistema exige un adecuado diseño de barreras físicas y de compartimentación de los sectores de incendio. Se consigue gran mejora del método de control de humo si, además, se combina con un sistema de extracción.

CURSO AVANZADO DE PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

La forma más eficaz para controlar el humo en medios y vías de evacuación es la presurización de la zona, contando con los sistemas de extracción de humos y compartimentación adecuados.

Aunque el diseño de un sistema concreto de control de humos representa una situación única para cada edificio, debe destacarse, de forma particular, la protección de escaleras y aquellos huecos verticales que pueden producir una propagación de los humos debido al efecto chimenea.

		Subterráneas	Industriales	Convencionales	De gran altura	
Movimiento Natural	Barreras horizontales y verticales		x	xx	xx	
	Efecto chimenea				xx	
	Ventilación directa		x	xx		
Movimiento Forzado	Extracción	x			xx	
	Dilución	xxx	xxx	xxx		
	Confinamiento	Barreras físicas			xx	xx
		Presurización				xx

x Método exclusivo.

xx Método útil en combinación con otro.

xxx Método utilizado cuando no queda otra posibilidad.

LA CONDUCTA HUMANA ANTE EL FUEGO

INDICE

- 1) INTRODUCCIÓN
- 1.1) Consciencia del Incendio
- 2) EL PROCESO DE DECISIÓN DEL INDIVIDUO
- 2.1) Reconocimiento
- 2.2) Comprobación
- 2.3) Definición
- 2.4) Evaluación
- 2.5) Compromiso
- 2.6) Reconsideración
- 3) COMPORTAMIENTO DE LOS OCUPANTES
- 3.1) Conductas Según el Sexo
- 3.2) Conducta en los Incendios de Hoteles
- 3.3) Puntos de Convergencia
- 3.4) Pánico
- 3.5) Vuelta al Lugar del Incendio
- 3.6) Conducta de los Ocupantes en la Luchas Contra el fuego
- 3.7) Movimiento de los Ocupantes a Través del Humo
- 3.8) Ocupantes con Dificultades o Minusvalías
- 4) RESUMEN

1) INTRODUCCIÓN

Las características de la conducta individual y en grupo de las personas ante un incendio, se han determinado fundamentalmente por estudios de investigación en los que el personal del departamento de incendios interrogó a los individuos en el momento de producirse los siniestros.

La conducta de un individuo ante un incendio estará condicionada por datos del edificio en el que ocurra el incendio y por la apariencia del mismo en el momento en que es detectado. Por ejemplo, la conducta de los ocupantes variará si percibe olor a humo o si las llamas están visibles, con un humo oscuro que obstaculiza totalmente los pasillos. Los datos de protección contra incendios que ofrezca el edificio pueden ser también críticos para el modo en que el individuo perciba la amenaza que supone el incendio. Evidentemente, en situaciones de peligro de la vida, las decisiones individuales y los actos más importantes se producen antes de que llegue el personal especializado, es decir, en las primeras etapas del incidente. Los estudios llevados a cabo en situaciones sanitarias han indicado la importancia de esta conducta:

"En el proceso de investigación de estos casos, hemos llegado a la conclusión de que el período que transcurre entre la detección del incendio y la llegada de los bomberos es el más crucial para el salvamento de vidas humanas, en lo que se refiere al primer comportamiento (la zona en contacto directo con la habitación de origen del incendio)."

Así pues, la conducta de los individuos en contacto directo con el lugar donde se inicia resulta crítica, no sólo para ellos mismos, sino también para otros ocupantes del edificio. Hay que reconocer que la conducta altruista que se observa en la mayoría de los incendios (con la interacción de los ocupantes y el entorno donde se desarrolla el fuego, de un modo consciente y deliberado) aparece como una reacción general. La conducta no adaptativa o de pánico es, aparentemente, la menos corriente en caso de incendio.

1.1) Consciencia del Incendio

Naturalmente, el modo en que un individuo es alertado de la presencia de un incendio puede determinar el grado de peligro que percibe. Con los sistemas de alerta vocal en los edificios, las variaciones en la voz, el tono o el volumen, así como el contenido del mensaje, pueden ofrecer claves sobre el peligro. La mayoría de los encuestados se dieron cuenta inicialmente de la ocurrencia de un incendio por el olor a humo. No obstante, cuando se suman las dos categorías "avisados por la familia" y "avisado por otros", resulta que el aviso personal es el modo más corriente de percepción inicial de un incendio, como indica la tabla siguiente:

Medios de percepción de un incendio

Medios de percepción	Participantes	%
Olor a humo	148	26
Avisado por otros	121	21,3
Ruido	106	18,6
Avisado por la familia	76	13,4
Ver el humo	52	9,1
Ver las llamas	46	8,1
Explosión	6	1,1

Sentir calor	4	0,7
Ver/oir coche de los bomberos	4	0,7
Ausencia de luz	4	0,7
Por un animal	2	0,3
	569	100

La categoría de ruido incluye el estruendo de personas que bajan las escaleras o corren por los pasillos, más otros ruidos diversos como la rotura de cristales y la llegada de los coches de bomberos.

Un detector de humo recomendado por la NFPA, con un nivel de ruidos de 75 dBA, indica que los individuos que tienen problemas de sordera, o que toman píldoras para dormir u otros medicamentos, pueden necesitar niveles de ruido por encima de los 100 dBA. En locales ocupados principalmente por personas con problemas de sordera, se pueden emplear luces parpadeantes o que se encimen en un momento dado, como alarma eficaz contra incendios.

Un estudio realizado con 24 adultos (varones) que se despertaron por una alarma sonora de un detector de humos, y a los que se les preguntó si habían identificado la alarma como un incendio, demostró que los encuestados habían dormido hasta que la relación señal/ruido de la alarma había llegado a 19 dBA, y que no habían identificado la alarma, el calor y el olor a humo como señales de incendio. Otros investigadores han indicado la relación señal/ruido de una alarma resulta atenuada por el entorno físico. Así, una señal que pasa a través de un techo o una pared se puede reducir a 40 dBA, y en 15 dBA si pasa a través de una puerta. Además, la señal puede resultar enmascarada por un acondicionador de aire, cuyo nivel de ruido sea de 55 dBA.

El reconocimiento de señales ambiguas de alarma como verdaderas señales de emergencia, puede resultar inhibida por la presencia de otras personas. Se han realizado estudios experimentales de inhibición de las reacciones adaptativas a casos de emergencias, con estudiantes universitarios. Mientras los estudiantes llenaban un cuestionario escrito, se hizo circular humo en la habitación, a través de un pequeño orificio en la pared. Si el estudiante abandonaba la habitación y se daba cuenta de la existencia de humo, el experimento se daba por terminado. Si el estudiante no se había dado cuenta de la presencia del humo en un período de seis minutos a partir del momento en que lo percibía, también se daba por terminado el experimento. Cuando los estudiantes estaban solos en la habitación, informaron de la presencia de humo en el 75% de los casos. Cuando había con cada estudiante dos personas más, que no actuaban, sólo el 10% de los grupos se dieron cuenta del humo. Cuando el grupo experimental consistió en tres personas no avisadas, en sólo el 38% de los grupos avisó un individuo del humo. De las 24 personas que tomaron parte en ocho grupos no avisados, sólo una persona dio cuenta del humo en los primeros cuatro minutos del experimento. Cuando se trataba de una persona sola, el 55% de las personas habían dado cuenta del humo antes de dos minutos y el 75% antes de cuatro minutos.

En el estudio se indicó que la detección del humo se retrasaba aparentemente cuando estaban presentes otras personas, con una media de cinco segundos cuando se trataba de personas solas, pero de 20 segundos en los dos casos de grupos. Estos resultados reflejan sin duda alguna las limitaciones que acepta la gente respecto a su conducta en los lugares públicos. El comportamiento de los sujetos no avisados, en situaciones pasivas, se describió de esta manera:

"Los otros nueve seguían en la sala de espera mientras ésta se llenaba de humo, trabajando en sus cuestionarios, muy concentrados, y apartando el humo con la mano. Empezaron a toser,

les lloraban los ojos y se levantaron a abrir la ventana, pero no informaron del humo."

Se ha sugerido que, al tratar de interpretar si algunas señales ambiguas de alarma indican una emergencia real, el individuo actúa influenciado por las reacciones de los otros. Si estos otros permanecen pasivos y parece que interpretan la situación como normal, el individuo tiende a inhibir su propia interpretación por la influencia social. Este experimento puede ayudar a explicar la tendencia constatada de la gente a no tener en cuenta las señales de alarma o interpretarlas como si no indicaran una alarma cuando la señal se produce en un momento en que hay más personas, como en un restaurante, un cine o unos grandes almacenes. Estos resultados del experimento pueden contribuir a explicar los incidentes de llamadas recibidas en los departamentos de incendios, minutos o incluso horas después de detectado por primera vez el suceso. En el informe del incendio del Arundel Park Hall, varios encuestados indicaron que, cuando entraron en el salón después de haber observado desde afuera que había un incendio, avisaron a sus amigos recomendándoles que salieran, pero éstos se rieron y, aparentemente, no tuvieron en cuenta el aviso.

El proceso de inhibición social, dilución de la responsabilidad e imitación, ha sido indicada como el principal responsable de la inhibición de la conducta adaptativa y de ayuda en situaciones de emergencia. La inhibición de la conducta en las primeras etapas de un incendio, cuando las señales de fuego son relativamente ambiguas, puede llevar a una conducta negativa, al haber pasado gran parte del tiempo del que se disponía para la evacuación. Por eso es difícil la evacuación de un edificio, a causa de la inhibición social y la dilución de la responsabilidad. La tendencia a adoptar modos de conducta imitados de los demás es un hecho que sucede en los incendios en locales de pública concurrencia.

2) EL PROCESO DE DECISIÓN DEL INDIVIDUO

Se han descrito siete procesos que puede seguir un individuo para tratar de estructurar y evaluar las claves que indican que existe algún peligro. Seis de estas etapas son: reconocimiento, comprobación, definición, compromiso y reconsideración. La séptima, el proceso de una serie de decisiones de defensa que supone que han ido fallando sucesivamente otras defensas, no se ha descrito como un proceso activo dentro de la toma de decisiones en caso de incendio.

2.1) Reconocimiento

El proceso de reconocimiento se produce cuando el individuo percibe señales que indican el peligro de incendio. Estas señales pueden ser muy ambiguas y no indicar claramente una situación grave. No obstante, las señales son, por lo general, continuas y de intensidad creciente, debido a la dinámica de las llamas, calor y humo. También hay informes que indican que la predisposición normal del individuo es la de reconocer las señales de alarma en términos de lo que puede ocurrir con mayor probabilidad, generalmente con relación a experiencias anteriores y en la forma de deseos optimistas. Este aspecto optimista de la respuesta ante una alarma puede ser el resultado directo del concepto que tiene el individuo de su vulnerabilidad personal.

El problema de reconocimiento de las señales de amenaza es importante para la protección contra incendios. La acción adaptativa que se puede poner en marcha al principio de una alarma de incendio, la evacuación de los ocupantes del edificio y la lucha contra el fuego, se puede ver retardada o aplazada si los individuos no detectan las señales de alarma como indicativas de una situación de emergencia. La naturaleza ambigua de estas señales hace que los

individuos normales, es decir, los que no están especialmente preparados en prevención contra incendios, sólo reconocen como señales de alarma el humo en gran cantidad o grandes llamas que surgen de repente.

2.2) Comprobación

El proceso de comprobación consiste en el intento del individuo por determinar la importancia de las señales de riesgo, que acaba casi siempre por reconocer que el riesgo es pequeño e improbable. No obstante, cuando las señales son ambiguas, el individuo intentará obtener información adicional. En otras palabras, la persona se da cuenta de que está ocurriendo algo, pero no está seguro de lo que es exactamente. Este proceso de comprobación puede suponer sobre la explosión de una fábrica de pirotecnia en Houston, TX, se encontró que, de las 139 personas entrevistadas, 85 (61%) recogieron información del origen y naturaleza de la explosión y del humo de otras personas. Según han demostrado las investigaciones la presencia de otras personas durante el proceso de reconocimiento y comprobación de un peligro inhibe posiblemente o influye en la respuesta del individuo.

2.3) Definición

El proceso de definición consiste esencialmente en un intento del individuo por relacionar la información del peligro percibido con algunas de sus variables, tales como su naturaleza cualitativa, la magnitud y su posible desarrollo en el tiempo. La aparición de tensiones y ansiedad en el individuo parece que es más grave antes de llegar a determinar la estructura o significado de la situación, aunque sea aparente que tal situación no está muy clara. El concepto que tiene el individuo de su papel es uno de los factores críticos en situaciones relativas a la personalización del peligro y al entorno físico. Los aspectos físicos más importantes en el proceso de definición son la generación, intensidad y propagación del humo, llamas y calor.

2.4) Evaluación

El proceso de evaluación se puede describir como la actividad cognoscitiva y psicológica necesaria para que el individuo responda ante el peligro. La capacidad del individuo para reducir los niveles de tensión y ansiedad es el factor psicológico esencial. En una situación creada por el posible peligro de un incendio, la evaluación es el proceso que lleva a la decisión de reaccionar, enfrentándose al fuego o huyendo. Con la evaluación se completa una decisión inicial que implica una respuesta. A causa del desarrollo en el tiempo de la generación y propagación del fuego, el proceso mental que lleva a la evaluación, inclusive, puede tener que realizarse en sólo unos pocos segundos. Las variables del entorno físico son una fuente importante de información para el proceso de decisión de los individuos que deben formular planes de adaptación, evacuación o defensa. Otros determinantes pueden ser la situación del individuo con respecto a las medidas de evacuación, otras personas, los efectos producidos por el fuego y la conducta de los demás.

Durante el proceso de evaluación, el individuo puede decidir abandonar el edificio (huir) o utilizar un extintor portátil (luchar). Durante este tiempo, el individuo es especialmente susceptible a las acciones y comunicaciones de los otros. De este modo, puede imitar las reacciones de los individuos a los que observa, lo que puede dar lugar a una conducta adaptativa o no adaptativa de la masa, en vez de a conductas individuales. La situación que describe la NFPA, relativa a una alarma dada con retraso en el caso de un incendio en un concesionario - taller de

automóviles en 1971, indica lo que puede haber sido una situación de imitación de conducta que se ha convertido en la normativa del grupo, como se describe a continuación:

"Alrededor de las 10 de la noche, el departamento de incendios recibió una alarma a través de una central situada en la calle. Cuando llegaron los bomberos, el edificio de 46 x 61 m, de uno y dos pisos, con estructura de madera y ladrillos huecos, ardía completamente, y había unos 300 espectadores contemplando el incendio, a una temperatura de -12 °C. La investigación reveló que el incendio llevaba ardiendo unos 90 minutos antes de que fueran avisados los bomberos".

En estudios de conductas de grupo no adaptativas, se ha desarrollado el concepto de que este tipo de conducta depende directamente de la recepción por el individuo de la estructura de reconocimiento social de una situación. Las personas que están en un edificio y se encuentran en una situación de incendio, percibirán al principio, probablemente una estructura de reconocimiento que les lleve a actuar de modo adaptativo y colaborador; en tal caso, todos podrían dirigirse y llegar hasta las salidas. Sin embargo, la estructura percibida por algunos de los individuos que estuvieron más lejos de las salidas, podría dar lugar a una conducta competitiva. Si sólo se comportaran de modo cooperativo, algunos individuos percibirían que es posible llegar a una salida y escapar a los efectos del incendio. Si la conducta es competitiva se inicia por uno o más de los individuos del grupo y éste puede ser el modelo de conducta para todo el grupo, lo que daría lugar a una competencia intensa por alcanzar las salidas.

En el proceso de evaluación, las influencias culturales de un individuo y el hecho de que asuma un papel concreto, pueden ser factores importantes para la formulación de planes de autoprotección o evacuación. Se cree que el individuo que asume un papel que no es nuevo, y que es apto para una situación de emergencia, experimentará menos ansiedad y su respuesta será más adaptativa que la de otro individuo que nunca ha asumido papeles de este tipo ni se ha enfrentado con sucesos parecidos.

2.5) Compromiso

El proceso de compromiso consiste en los mecanismos que utiliza el individuo para iniciar una conducta que le lleve a poner en marcha los planes de defensa que se ha formulado durante el proceso de evaluación. Esta respuesta a la amenaza del incendio puede resultar un éxito o un fracaso. Si la respuesta fracasa, el individuo se ve implicado inmediatamente en el siguiente proceso de reconsideración y compromiso. Si la acción es un éxito, la ansiedad y tensión se reducen y el individuo se relaja, aunque la situación general del incendio sea ahora más grave.

2.6) Reconsideración

El proceso reconsideración y de adaptación de nuevos compromisos es el que más tensiones crean en el individuo, debido al fallo de los anteriores intentos de adoptarse a la situación. De este modo las reacciones exigirán un mayor esfuerzo, y el individuo tiende a ser menos selectivo en la elección de su respuesta. Si incurre en sucesivos fallos, el individuo se frustrará cada vez más, lo que hará aumentar la posibilidad de riesgo de accidentes, con un mayor nivel de actividad y menores probabilidades de éxito, como se demostró en el incendio del

Arundel Park Hall, en el que, a medida que la gente veía frustrado sus primeros intentos de escapar, empezaron a arrojar por las ventanas.

Al analizar la conducta de los individuos implicados en un proceso de reconocimiento, comprobación, definición, evaluación, compromiso y reconsideración, hay que recordar que todos estos procesos son dinámicos y se modifican constantemente en cuanto a su magnitud, velocidad e intensidad. Las actividades psicológicas y fisiológicas normales de una persona estarán probablemente por debajo de su nivel durante el proceso de reconocimiento, porque se concentra en la percepción de las señales de riesgo. Durante el proceso de comprobación y definición del riesgo, existirá una comunicación abierta con los miembros más cercanos de la población amenazada. El período de hiperactividad parece que sucede, inicialmente, durante el proceso de compromiso y se hace más intenso durante el proceso de reconsideración y nuevo compromiso. La tensión irá aumentando en cada etapa sucesiva, porque la motivación principal de la conducta es la reducción de tensión. El aspecto, la proximidad, la propagación, el tiempo y los gases tóxicos producidos por el incendio, tienden también a predisponer al individuo a un nivel de actividad más alto, que depende de su percepción de todas estas variables. Durante el proceso de reconsideración y de nuevo compromiso, el nivel de actividad del individuo puede convertirse en hiperactivo o frenético, o se puede expresar en un estado catastrófico, de completa inmovilidad física e incapacidad de expresarse con coherencia. Estos individuos perciben la amenaza como algo que sobrepasa su nivel de adaptación. La tensión es entonces grave y ellos sucumben totalmente. Cesan de comportarse de modo adaptativo y adoptan una actitud completamente aparte de la situación, mediante un mecanismo de retraimiento psicológico.

3) COMPORTAMIENTO DE LOS OCUPANTES

En un estudio sobre 952 incendios, con 2.193 individuos entrevistados por el personal de los departamentos correspondientes, en el mismo lugar de los hechos, llevado a cabo en Gran Bretaña, se demostró que las respuestas más frecuentes eran la evacuación de un edificio incendiado, o la lucha o contención del fuego, aviso a otros individuos o a los bomberos. Estas mismas categorías de conducta se encontraron en otro estudio parecido, llevado a cabo en los EE.UU., con 584 entrevistados que habían tomado parte de 335 incendios.

3.1) Conductas Según el Sexo

Se ha examinado también la diferencia entre las primeras acciones emprendidas por los participantes, según su sexo.

Primera acción	Hombres %	Mujeres %
Avisar a otros	16,3	13,8
Localizar el fuego	14,9	6,3
Llamar a los bomberos	6,1	11,4
Vestirse	5,8	10,1
Abandonar el edificio	4,2	10,4
Recoger a la familia	3,4	11,0
Luchar contra el fuego	5,8	3,8
Agarrar el extintor	6,9	2,8
Abandonar la zona	4,6	4,1

Despertarse	3,8	2,5
Nada	2,7	2,8
Hacer que otros llamen a los bomberos	3,4	1,3
Recoger objetos personales	1,5	2,5
Ir a la zona del fuego	1,9	2,2
Llevarse combustibles	1,1	2,2
Entrar en el edificio	2,3	0,09
Tratar de salir	1,5	1,6
Ir hacia la alarma	1,1	0,19
Telefonar a otros	0,8	1,6
Tratar de apagarlo	1,9	0,6
Cerrar la puerta zona incendiada	0,8	1,3
Accionar alarma	1,1	0,6
Desconectar aparatos	0,8	0,9
Buscar animales	0,8	0,9
Otras	6,5	2,5

3.2) Conducta en los Incendios de Hoteles

La protección de los edificios de gran altura y sus ocupantes han sido puesta a prueba en el incendio del MGM Gran Hotel en Clark Country, NV, el 21 de noviembre de 1980, y en otro incendio en el Hotel Hilton de Las Vegas, el 10 de febrero de 1981. En ambos casos se produjeron muertos y heridos entre los clientes del hotel. La NFPA llevó a cabo un estudio con detenimiento entre los clientes que dejaron el MGM Gran Hotel.

El incendio del MGM fue descubierto por un empleado del mismo que entró en el restaurante vacío, situado en la planta baja del hotel, aproximadamente a las 7,10 de la mañana. Siguiendo las instrucciones, la telefonista del hotel avisó inmediatamente a los bomberos del Condado de Clark aproximadamente a las 7,18. Todas las telefonistas se vieron obligadas a abandonar la central debido al humo, inmediatamente después de haber dado la alarma de incendio por los altavoces, aproximadamente a las 7,20, para que abandonaran la zona. El fuego alcanzó rápidamente la condición de fuego abierto en la zona de restaurante, y se propagó de este a oeste en toda la planta baja, extendiéndose más allá de la puerta de entrada oeste inmediatamente después de la llegada de los primeros bomberos.

En esta época se estaba construyendo un anexo al hotel, a continuación de su parte más accidental. Los obreros que estaban trabajando en esta obra ayudaron a avisar y evacuar a los clientes y en la lucha contra el fuego. El calor y el humo se propagaron rápidamente desde la zona del casino hasta las juntas sísmicas, los huecos de los ascensores y las escaleras, hasta los 21 pisos de habitaciones del hotel. El calor llegó a ser tan intenso en el último piso (26) que activó automáticamente los rociadores del hall delante de los ascensores.

Debido a la rápida evacuación del personal encargado del teléfono, los clientes no fueron advertidos ni por el sistema de altavoces del hotel ni por el sistema de alarma interno. Los que habían sido alertados al principio del incendio y los que ya estaban levantados y vestidos, pudieron ser evacuados antes de que el humo hiciera insostenible la situación en los pisos superiores. Los clientes que fueron alertados más tarde permanecieron en sus habitaciones o pasaron a otras, en las que normalmente había otros ocupantes. El fuego no se extendió por encima del nivel del casino, con la excepción de dos habitaciones de la quinta planta, en la que se produjeron daños menor importancia. El resultado del incendio fue 85 muertos y 778 clientes y 7 empleados

CURSO AVANZADO DE PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

heridos. Se tiene noticia de la situación de 79 cuerpos: 14 en la planta del casino (en la que se declaró el incendio), 29 en sus habitaciones, 21 en pasillos y zonas neutras, 9 en escaleras y 5 en ascensores. Las víctimas fueron encontradas en la planta del casino y los pisos 16 y superiores, con la mayoría entre el 20 y 25.

La tragedia del MGM Gran Hotel revistió en muchos aspectos caracteres únicos. Primero, fue el segundo fuego en importancia declarado en un hotel en toda la historia de EE.UU. Segundo, fue el primer incendio que se propagó hasta los pisos altos, y en el que los helicópteros evacuaron a gran cantidad de personas (unas 300); los bomberos rescataron, por otros medios, a unas 900 personas.

Poco después del incendio la NFPA preparó un cuestionario de 4 páginas y 28 puntos, incluido el plano de las plantas. Se enviaron por correo 1.960 cuestionarios, de los que se recibieron contestados aproximadamente el 28%.

La edad de la población que contestó el cuestionario iba de 28 a 84 años. La población constaba de 331 hombre y 222 mujeres. Ciento tres clientes indicaban que estaban solos cuando se dieron cuenta de que había fuego en el hotel. La presencia de otras personas, especialmente si pertenecen al grupo primario del individuo, parece que es determinante de la respuesta de muchos individuos ante incendios en zonas residenciales.

Las cinco acciones iniciales que emprendieron los 554 clientes que respondieron al cuestionario se presentan en la tabla siguiente:

Las primeras cinco acciones emprendidas por los clientes en el caso del incendio del MGM Gran Hotel

Acciones	Porcentaje de la población				
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Vestirse	16,8	11,6	6,5	-	-
Abrir la puerta	15,9	11,7	6,7	3,4	
Avisar compañeros de habitación	11,6	3,0	-	-	-
Vertirse en parte	10,1	7,5	4,5	-	-
Mirar la ventana	9,7	5,7	-	-	-
Salir de la cama	4,5	-	-	-	-
Salir de la habitación	4,3	5,4	8,1	2,4	2,0
Intentar telefonar	3,4	3,6	-	2,8	-
Ir hacia la salida	2,5	10,3	9,5	16,1	6,7
Poner toallas alrededor de puerta	1,6	2,5	3,0	6,8	7,7
Comprobar si la puerta estaba caliente	1,3	2,3	-	-	-
Humedecer toallas para la cara	1,3	3,7	6,3	4,6	7,9
Salir del baño	1,1	-	-	-	-
Intentar salir	1,1	3,0	5,8	-	-
Recoger objetos de valor	-	6,8	4,3	-	-
Avisar a otras habitaciones	-	3,4	2,2	-	-
Volver a la habitación	-	-	3,9	0,4	4,1
Bajar	-	-	3,9	5,4	21,3
Abandonar el hotel	-	-	3,4	2,6	2,0
Avisar a otros clientes	-	-	3,0	-	-
Buscar otra salida	-	-	-	3,6	4,8
Ir a otra/s habitaciones	-	-	-	3,4	8,7
Buscar la salida	-	-	-	2,4	-

Romper la ventana	-	-	-	-	4,3
Ofrecer refugio en su habitación	-	-	-	-	1,8
Subir hacia el tejado	-	-	-	-	2,9
Salir a un balcón	-	-	-	-	1,8
Otras	14,8	19,5	28,9	30,2	20,1

Obsérvese que, las más frecuentes de estas cinco acciones, fueron, "vestirse", "abrir la puerta", "avisar a los compañeros de habitación", "vestirse en parte" y "mirar por la ventana". Los clientes que emprendieron estas primeras acciones estaban dedicados sobre todo, a determinar el grado de peligro que corrían. Sólo un 8% aproximadamente de la población estudiada comenzó o intentó comenzar su propia evacuación mediante acciones tales como "alcanzar la salida", "ir hacia la salida" y "salir de la habitación". Un total de 16 individuos, el 2,9% de la población, inició acciones para utilizar la habitación como zona de refugio: "humedecer la toalla para la cara" y "poner toallas alrededor de la puerta". Las acciones de los clientes que contestaron el cuestionario de la NFPA se pueden clasificar, en general, como una evacuación o de preparar un refugio. Las acciones relativas a la evacuación parece que se iniciaron antes si las vías de salida estaban libres de humo, o si éste no era apreciado todavía como una amenaza. Sin embargo, cuando el humo era más denso, los clientes decidían permanecer en su habitación u otras habitaciones e iniciar acciones para evitar que penetrara el humo a las mismas.

Las cinco acciones que los clientes emprendieron en mayor número como segunda opción fue: "abrir la puerta", "vestirse", "ir hacia la salida", "vestirse en parte" y "recoger objetos de valor". Aproximadamente el 19% de la población estudiada se vistió antes de iniciar acciones de evacuación o refugio.

Las acciones que emprendieron los clientes de la población estudiada, en tercer lugar, fueron, por lo general, avanzar hacia medios de evacuación, intentar la evacuación y avisar a otros.

Las cuartas acciones de los clientes estudiados indican un avance hacia la evacuación, intento de evacuación o auto-protección. En el fuego de este hotel se observó un proceso que consistió en que los clientes se reunieron en unos puntos de convergencia. Esta acción supuso individuos que se reúnen en habitaciones consideradas como zonas seguras, con otros individuos que no conocían antes del incidente.

La quinta acción de los clientes fue, principalmente, la autoprotección, incluido el acondicionamiento de la habitación como zona segura. Aproximadamente el 40% de las quintas acciones supusieron procedimientos de autoprotección.

3.3) Puntos de Convergencia

El fenómeno de la formación de puntos de convergencia se observó por primera vez en un estudio de la conducta de los ocupantes de un edificio de apartamentos, en un incendio de 1.979. Los puntos agrupan a los ocupantes de un edificio incendiado en ciertas habitaciones que se consideran sectores independientes del incendio. Parece que los puntos de convergencia sirven como mecanismos de alivio de la tensión y la ansiedad, para individuos que se enfrentan con una amenaza. La acción de ofrecer refugio es un índice positivo de la formación de puntos de convergencia.

Los tipos de conductas irresponsables en un incendio implican el desprecio de las acciones adaptativas o de la conducta que podría facilitar la evacuación de otros o limitar la propagación del fuego, el humo o el calor. Las conductas no adaptativas van desde el simple acto de abandonar

la habitación donde se ha producido el incendio sin cerrar la puerta, permitiendo así que el fuego se propague a todo el edificio y ponga en peligro la vida de sus ocupantes, hasta el concepto más generalizado de la gente que huye del fuego sin preocuparse de los demás, y quizá incluso causándoles heridas, en una acción que normalmente se considera pánico.

La conducta no adaptativa puede consistir también en omisiones tales como olvidar cerrar la puerta, o puede suponer que, aunque sean lógicas y positivas en su intento, tengan consecuencias negativas. Cuando los resultados de una conducta son apagar el fuego y eliminar la amenaza que suponía, se dice que la conducta es adaptativa. Sin embargo, a veces esta misma conducta es insuficiente, porque el fuego era mucho más grave de lo que se creyó en principio. En tales casos se podría haber utilizado el tiempo más eficazmente avisando a los demás o a los bomberos. Por tanto, algunas conductas que pueden parecer no adaptativas no son más que conductas equivocadas, que habrían parecido más positivas si sus resultados hubieran sido positivos. Las heridas que sufren algunas personas en algunos incendios pueden ser signo de conductas no adaptativas o arriesgadas.

3.4) Pánico

Un concepto que se ha discutido muchas veces consecuencia de algunos incendios, es el pánico. Una definición clásica de pánico es:

"Una sensación repentina y excesiva de alarma o miedo, que afecta normalmente a un conjunto de personas y que tiene su origen en un peligro real o supuesto, vagamente apreciado, y que lleva a extremos exagerados y alocados con tal de salvarse."

Según esta definición, el pánico es un tipo de actitud de huida mediante medios exagerados o alocados, y es probable que no se limite a un solo individuo, sino que se transmita y sea adoptado por un grupo de gente. A partir de experimentos simulados, una conducta de este tipo ha sido definida como:

" Una conducta de huida causada por el miedo, irracional, no adaptativa y antisocial, que contribuye a reducir las posibilidades de huida del grupo como un todo."

El concepto de pánico se usa a veces para explicar que se produzcan muertes múltiples en casos de incendios, incluso aunque no exista evidencia física, social o psicológica que demuestre que se ha producido una conducta de huida competitiva y alocada. Los medios de comunicación ponen a menudo la etiqueta de pánico a la conducta que se produce durante los incendios. La evidencia resultante de las entrevistas y cuestionarios a personas que han participado en el incendio del Club Restaurante Beverly Hills no demuestra que se produjera este tipo clásico de conducta.

Se ha indicado que el pánico como concepto es, principalmente, una descripción más que una explicación de la conducta. El concepto se usa como apoyo de ciertos requisitos en las normas u ordenanzas para caso de incendio en edificios, a fin de ofrecer mayor seguridad a los ocupantes. Esta diferencia se ha observado también cuando se trata de describir la conducta de otras personas en un incendio o cuando se describe la propia conducta, para indicar que los individuos muestran un cierto estado de preocupación y ansiedad. Como ya se ha indicado, el hecho de que un individuo identifique una conducta como asociada a una reacción de pánico, no

indica necesariamente que se haya producido este tipo de respuesta. El resultado de la conducta, como ya hemos indicado, afecta muchas veces a su propia definición. Es decir, que la conducta de la gente en un incendio corre peligro de ser mal interpretada cuando el resultado del incendio ha sido pero.

El uso del concepto de pánico se debe separar claramente de la "ansiedad" o el "miedo". El concepto de pánico animal o auto destructor ante estímulos tales como la presencia de humo, no ha sido confirmada por la investigación sobre la conducta humana en caso de incendio. Como se ha puesto de manifiesto, una conducta caracterizada por la huida en competición con otros participantes y de la que resultan heridos, no se puede calificar propiamente como pánico.

En un estudio basado en 100 entrevistas a participantes en incendios en viviendas unifamiliares, no se encontraron ejemplos de pánico, sino, principalmente, conductas altruistas y de colaboración.

3.5) Vuelta al Lugar del Incendio

El estudio del incendio de 1956 en el Arundel Park Hall viene a documentar un fenómeno que ya se había observado, el de vuelta al lugar del incendio. Algunas normas y reglas antiguas sobre el diseño de las salidas para caso de incendio, parecen suponer que las personas sólo tienden a huir del lugar del incendio o de la planta incendiada de un edificio. Por el contrario, el estudio del Arundel Park Hall indica que, aproximadamente un tercio de los supervivientes entrevistados, había vuelto a entrar en el edificio.

De este modo se ha puesto de manifiesto que las puertas, pasillos y escaleras experimentarán en muchos casos un movimiento de personas en ambos sentidos. Los ocupantes que, después de abandonar el edificio y estar a salvo, vuelven a entrar en él, son con frecuencia consciente de que hay fuego y de las partes concretas del edificio que están afectadas, del origen y de la propagación del mismo.

El incendio del Arundel Park Hall tuvo lugar en un lugar de reunión que se utilizaba para una mariscada patrocinada por una parroquia (un acto familiar). El papel primordial que desempeña en el grupo el padre o marido, por tanto, fue, en apariencia, un factor crítico en la conducta de la población entrevistada, relativa a volver a entrar en el lugar del incendio, y por eso los que volvieron a entrar fueron, en su mayoría, hombres. Por tanto, se puede considerar con cierta razón que esta conducta es de colaboración, puesto que la mayor parte de las veces está dirigida a ayudar o a rescatar a personas que están o que se cree que están dentro del edificio. Este tipo de conducta es el seguido muchas veces por padres cuyos hijos se han perdido durante un incendio y se emprende de modo racional, deliberado y con este fin, sin la ansiedad que asocia normalmente a conductas de muy distinto tipos. Sin embargo, esta conducta se considera no adaptativa, porque la gente que vuelve a entrar en un edificio en llamas no se atiene al patrón de conducta del resto de la gente que evacúa el edificio de modo eficaz y ordenado, por la salida utilizada por unos pocos para volver a entrar.

La tabla siguiente presenta las razones aducidas por las personas evacuadas en el estudio Project People, en EE.UU. Se ve en la tabla que 162 personas, de un total de 584, es decir el 17,9%, volvieron a entrar en un edificio en llamas. La razón más aducida fue "luchar contra el fuego", seguida por "recuperar objetos personales", "comprobar el fuego", "avisar a otros", "ayudar a los bomberos" y "recoger animales". Estas seis razones suponen aproximadamente el 73% de esta conducta.

Razones por las que volvieron a entrar

Razones	Participantes	
Luchar contra el fuego	36	
Recuperar objetos personales	28	
Comprobar el fuego	18	
Avisar a otros	13	
Ayudar a los bomberos	12	
Recoger animales	12	
Llamar a los bomberos	9	
Ayudar en la evacuación	4	
Llevar a alguien al hospital	3	
Desconectar la luz	2	
Rescatar a alguien a quien han visto	1	
Ayudar a un miembro de la familia herido	1	

Abrir las ventanas	1	
Cerrar las puertas	1	
No había peligro aparente	1	
Entró en una zona libre de peligro	1	
Responsabilidad de su trabajo	1	
Responsable del fuego	1	
Se lo dijeron otros	1	
No dan razón	16	

3.6) Conducta de los Ocupantes en la Luchas Contra el fuego

Los ocupantes que participaron en la lucha contra el fuego durante los incendios fueron predominantemente hombres; esta conducta parece, pues, culturalmente determinada y es un aspecto del papel del hombre. No obstante, se debe observar que el estudio "Projet People" de 335 incendios en EE.UU., aproximadamente el 23% de los 584 individuos estudiados participó en la lucha contra incendios en los edificios en que se encontraba. De ellos, el 37,5% eran mujeres. De los 134 individuos que participaron en la lucha contra el fuego, 50 eran mujeres y 84 hombres. Las edades de estas personas fueron desde una niña de 7 años hasta un hombre de 80 años.

<i>Sexo</i>	Participantes	%
Hombres	84	62,7
Mujeres	50	37,3
Edad		
7-17	8	5,9
18-27	31	23,1
28-37	41	30,6
38-47	27	20,1

48-57	16	11,9
58-67	2	1,5
68-80	3	2,2
Desconocida	6	4,7

La lucha contra el fuego de los ocupantes de un edificio se produce sobre todo cuando los ocupantes se encuentran emocional o económicamente unidos: en sus casas, o en los lugares en los que se les asigna dicho papel y se les prepara para ello.

En el estudio relativo a incendios en zonas residenciales en Berkeley, CA, sobre un total de 208 incendios, el 80% de estos no fueron denunciados al departamento de incendios.

La mayoría de estos incendios no denunciados habían sido apagados por los ocupantes del inmueble, solo a ayudados por vecinos. El 6% de estos incendios se apagaron solos, el 52% fue apagado por individuos que habían estado implicado en la actividad que había dado lugar al incendio. Así, parece ser que, sólo se avisó a los bomberos cuando los incendios parecían incontrolables.

En el estudio Project People, 107 de los 584 participantes permanecieron voluntariamente en el edificio una vez avisada del incendio. Cincuenta y dos de los participantes (aproximadamente 49% de la población que permaneció en el edificio) dijeron que permanecieron porque querían participar en actividades de control o lucha contra el fuego. Las otras razones más frecuentes fueron avisar a los demás del fuego o imposibilidad de salir porque la salida estaba bloqueada por el humo. Se deduce también que aproximadamente el 15% de la población permaneció voluntariamente dentro del edificio incendiado.

3.7) Movimiento de los Ocupantes a Través del Humo

Un sector de la conducta de los evacuados en muchos incendios, que ya se relaciona a menudo con la lucha contra el fuego, es el movimiento de los ocupantes a través del humo. La principal razón que influye en la decisión de los ocupantes de tratar de avanzar a través del humo, parece que es la localización de la salida para poder estimar la distancia que hay hasta ella, el aspecto del humo, su densidad y la presencia o ausencia de calor al mismo tiempo. Para llegar a la salida, los ocupantes han atravesado zonas de humo, incluso largas distancias, con visibilidad muy limitada e incluso con riesgo personal, y a veces hasta se han visto obligados a volver sin lograr salir.

Estudios realizados en EE.UU. y Gran Bretaña, demostraron que el 64% de la población británica y el 47,6% de la población norteamericana declararon que avanzaron a través de un humo relativamente denso, con visibilidad a menos de 3,7 metros. Estos mismos estudios mostraron que muy pocos participantes volvieron cuando la visibilidad era mayor de 9,4 metros. El mayor porcentaje de participantes volvió cuando los niveles de visibilidad eran menores. Comparando las cifras se observa que el 91% de la población británica estudiada y el 76,4% de la población de EE.UU. se volvieron cuando la visibilidad era menor de 3,7 metros.

3.8) Ocupantes con Dificultades o Minusvalías

Los problemas de incendios en edificios en los que residen personas disminuidas permanente o temporalmente, como guarderías y hospitales, se deben resolver sobre la base del diseño del edificio, una formación adecuada del personal y la posibilidad de proteger a los ocupantes en el edificio hasta que sea posible su evacuación. Un amplio estudio de la conducta en caso de incendio en

instituciones sanitarias ha demostrado que el personal de hospitales ha desempeñado sus obligaciones profesionales respecto a los pacientes incluso en situaciones de alto riesgo personal.

Los pocos incendios estudiados en los que se han visto implicadas personas disminuidas, en edificios distintos de los estrictamente sanitarios, se refieren a zonas residenciales. En dos de estos casos, los individuos disminuidos fueron ayudados por otros ocupantes, y evacuados con éxito. Un ejemplo incluye una persona que utilizaba silla de ruedas y otro una persona ciega.

Las personas disminuidas se encuentran con una variedad de limitaciones que hacen aumentar su riesgo en caso de incendio: problemas sensoriales como la ceguera y la sordera; problemas de movilidad como la necesidad de usar silla de ruedas; y problemas intelectuales como retraso mental. También se ha indicado que muchas personas disminuidas con problemas de movilidad se preocupan de su seguridad personal en edificios altos y zonas residenciales, en los que no está permitido utilizar ascensores en caso de incendios. En tales situaciones se debe procurar ofrecer a los disminuidos zonas seguras, lo cual, por otra parte, también se debe hacer para las personas normales.

Un estudio sobre un cierto número de simulacros de evacuación de edificios altos, llevado a cabo en Canadá, ha indicado que aproximadamente el 3% de los ocupantes no pueden utilizar las escaleras debido a situaciones de limitación permanente o temporal de la movilidad. Entre la población estudiada había individuos con enfermedades del corazón y otros que estaban convalecientes de operaciones, accidentes o alguna enfermedad.

4) RESUMEN

La conducta ante un incendio se puede considerar como el intento lógico de enfrentarse a una situación compleja y rápidamente cambiante, en la que se dispone de información mínima para la acción. Se recomienda que, al redactar nuevos códigos de conducta en caso de incendio, se "reorienten para aumentar la probabilidad de que la gente, en caso de incendio, tome decisiones con más información". El examen de la conducta de los implicados en el Club Restaurante Beverly Hills ha llevado a la recomendación de que "la educación sobre cómo conducirse en caso de incendio debe considerar, y se debe basar, en los conceptos erróneos que tiene la gente sobre la distancia que puede recorrer para salvarse y el tiempo que necesitan para escapar de un peligro de incendio". Más de una década de investigaciones detalladas y sistemáticas sobre la conducta humana en los incendios, ha conducido al siguiente consenso sobre la conducta de la mayoría de las personas:

"A pesar de la presión del entorno, la gente responde generalmente ante una emergencia de modo racional y con frecuencia altruista, siempre que sea posible dentro de las limitaciones impuestas por su conocimiento, percepciones y acciones, a causa del fuego. En resumen, las reacciones de tipo pánico instintivo no son la regla general".

Las relaciones entre el entorno físico y social en el que se desarrolla la conducta, son complejas. La situación se complica porque la percepción de las señales del fuego por el individuo es ambigua, y está influida principalmente por la formación de la persona al respecto y por su posible experiencia anterior en incendios, si tiene alguna. Hay que reconocer que las señales del fuego son producto de un proceso dinámico y que varía muy rápidamente, lo que hace que se alteren constantemente las decisiones de los ocupantes de un edificio. Este dilema se ha resumido así:



"Lo que puede ser una acción adecuada en un momento dado, puede ser totalmente inadecuada un minuto después".

LA EVACUACIÓN

- 1) PROCESO DE EVACUACIÓN
 - 1.1) Primera Fase: Detección del Peligro
 - 1.2) Segunda Fase: Alarma
 - 1.3) Tercera Fase: Preparación para la Salida
 - 1.4) Cuarta Fase: Salida del Personal
- 2) CÁLCULO DEL TIEMPO DE SALIDA
- 3) PLAN DE EVACUACIÓN
 - 3.1) Estructura del Plan de Evacuación
 - 3.2) Características del Plan de Evacuación
 - 3.3) Contenido del Plan de Evacuación
 - 3.4) Criterios para el Diseño y Administración de Planes de Evacuación
- 4) IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE EVACUACIÓN
- 5) PAUTAS BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN

- 6) LOS RESPONSABLES DE GRUPO
 - 6.1) Criterios de Selección
 - 6.2) Funciones
 - 6.3) Lo que Debe Hacer el Responsable del Grupo
- 7) SIMULACROS
- 8) ASPECTOS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA EN LA SALIDA

Conjunto de procedimientos y acciones tendientes a que las personas amenazadas por un peligro (incendio, inundación, etc.) protejan su vida e integridad física, mediante su desplazamiento hasta y a través de lugares de menor riesgo.

La incertidumbre sobre la posible ocurrencia de un incendio y los múltiples casos presentados en edificios elevados y áreas de gran concentración de personas, nos han enseñado que para afrontar con éxito la situación la única fórmula válida, además de la prevención, es la planeación anticipada de las diferentes alternativas y acciones a seguir. Debido a que en el esquema normal de respuesta en caso de emergencia, la presencia de los organismos especializados de socorro requiere de un mínimo de tiempo, y a la dinámica misma del desarrollo del fuego, es necesario que las personas involucradas en un evento de esta naturaleza puedan ponerse a salvo en el menor tiempo posible. Lo anterior ha dado origen a los planes de evacuación, de cuyo diseño nos ocuparemos en el presente artículo.

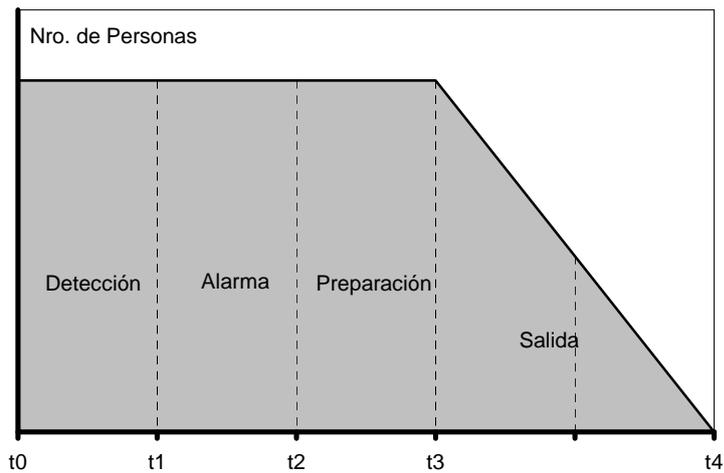
1) PROCESO DE EVACUACIÓN

En contra de lo que piensa la mayoría de las personas, la evacuación no se limita a un simple desplazamiento de personas entre dos sitios, sino que es un complejo proceso que empieza con la aparición misma del incendio, iniciándose así una inexorable carrera contra el tiempo, cuyo resultado final es la salvación o la muerte. Todo este proceso se desarrolla en cuatro fases, cada una de las cuales requiere de un mayor o menor tiempo para su ejecución, tiempo que en definitiva limita las posibilidades de éxito.

1.1) Primera Fase: Detección del Peligro

Tiempo transcurrido desde que se origina el peligro hasta que alguien lo reconoce. El tiempo depende de:

- Clase de riesgo
- Medios de detección disponibles
- Uso del edificio
- Día y hora del evento



1.2) Segunda Fase: Alarma

Tiempo transcurrido desde que se conoce el peligro hasta que se toma la decisión de evacuar y se comunica esta decisión a la gente. El tiempo depende de:

- Sistema de alarma
- Adiestramiento del personal

1.3) Tercera Fase: Preparación para la Salida

Tiempo transcurrido desde que se comunica la decisión de evacuación hasta que empieza a salir la primera persona. El tiempo depende del Entrenamiento.

Algunos aspectos importantes en la fase de preparación son:

- Verificar quienes y cuantas personas hay
- Disminuir riesgos
- Proteger valores
- Recordar lugar de reunión final.

1.4) Cuarta Fase: Salida del Personal

Tiempo transcurrido desde que empieza a salir la primera persona hasta que sale la última, a un lugar seguro. El tiempo de salida depende de:

- Distancia a recorrer
- Número de personas a evacuar
- Capacidad de las vías de escape
- Limitantes de riesgos

Durante las tres primeras fases, cuya suma de tiempo se reconoce como tiempo de reacción, no se presenta disminución en el número de personas que habitan el edificio. El tiempo necesario para evacuar está dado por la suma de los tiempos individuales necesarios para ejecutar cada una de las cuatro fases.

2) CÁLCULO DEL TIEMPO DE SALIDA

El cálculo aproximado del tiempo de salida en condiciones normales es:

$$TS = \frac{N}{A * K} + \frac{D}{V}$$

donde:

TS: Tiempo de salida

N: Nro. de personas

A: Ancho de la salida en metros

K: Cte. experimental= 1,3 personas/metro segundo

D: Distancia total de recorrido en metros

V: Velocidad de desplazamiento= 0,6 metros/segundo

3) PLAN DE EVACUACIÓN

Conjunto de actividades y procedimientos tendientes a conservar la vida y la integridad física de las personas en el evento de verse amenazadas, mediante el desplazamiento a través y hasta lugares de menor riesgo.

La posibilidad de que un edificio se pueda evacuar en caso de emergencia está condicionada a dos parámetros. El primero de ellos es el **Tiempo Límite del Riesgo (TLR)** o sea, el tiempo transcurrido desde el inicio del incendio hasta la aparición de alguna de las condiciones críticas que impidieran la evacuación. Entre ellas tenemos, temperatura de 150°C, concentraciones de oxígeno menores al 7%, monóxido de carbono por encima del 1% y dióxido de carbono en concentraciones del 12% en el aire. El segundo parámetro es conocido como el **Tiempo en Situación Crítica (TSC)** y

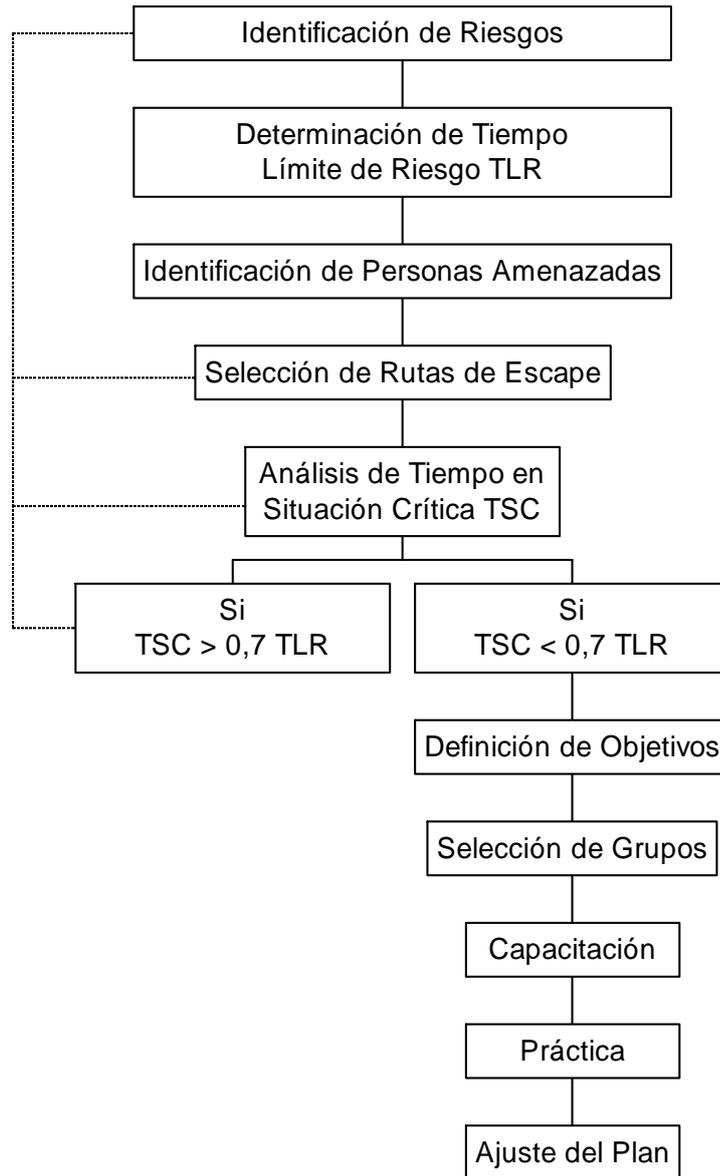
corresponde al máximo tiempo necesario para efectuar la evacuación completa, en las condiciones más críticas que sea posible esperar (falla de sistemas, máximo número de acciones a efectuar, máxima población flotante, etc.) sobre la base de lo anterior la evacuación sería factible en el caso en que el TSC sea menor que el TLR.

La determinación aproximada del TLR no es fácil y su análisis se basa en el conocimiento de la naturaleza del fuego, de las características del edificio y su carga de combustible, y el grado de experiencia de que se disponga. El cálculo de TSC puede hacerse consultando las características del edificio y sus sistemas, y utilizando algunas fórmulas teóricas sobre cálculo de tiempos de salida, y puede ajustarse por experiencia práctica.

A continuación presentamos un diagrama de flujo para la toma de decisiones en el diseño del plan de evacuación. Con él no pretendemos establecer una fórmula de cálculo sino que buscamos crear una metodología lógica que nos permita aproximarnos a las condiciones esperadas y posibilita así un mayor grado de certidumbre para alcanzar el objetivo deseado.

El punto de partida para el análisis está dado por la identificación de los riesgos de incendio en cada una de las etapas de las áreas del edificio objeto del plan. La decisión de si elabora un plan general de evacuación o uno para cada área dependerá de las características del edificio, de los riesgos presentes y de las posibilidades de que un riesgo específico pueda generalizarse (un edificio de gran altura, por ejemplo).

Una vez identificados estos se hará la determinación de o de los TLR, valor que nos condicionará el máximo tiempo disponible para la evacuación. Seguidamente debemos identificar todas las personas amenazadas por el riesgo, incluyendo número, ubicación y características especiales (minusválidos, mujeres, niños, etc.). A continuación se hará la selección de las rutas de escape más adecuadas según cada caso, teniendo presentes de no utilizar aquellas que representen un riesgo mayor que el que se pretende evitar. Con toda la información anterior se tratará de establecer el tiempo en situación crítica TSC, determinando y sumando el tiempo esperado para cada una de las cuatro fases del proceso de evacuación. En la medida en que la información y los criterios a utilizar sean menos objetivos, será necesario introducir un coeficiente de seguridad en el cálculo (en nuestro ejemplo hemos definido un coeficiente del 30%, el cual resta del TLR).



Teniendo ya como elementos de juicio el TSC y el TLR (incluyendo si es necesario el coeficiente de seguridad), procedemos a su comparación. En el caso en que el tiempo necesario para evacuar o TSC sea mayor que el tiempo disponible o TLR, se requiere introducir las modificaciones convenientes para reducir el TSC, actuando sobre cada uno de los componentes que condicionan dicho tiempo en las diferentes etapas del proceso. A manera de ejemplo citaremos algunas acciones tendientes a la reducción del tiempo:

- Cambio y optimización de los sistemas de alarma o detección
- Dotación de energía a los sistemas de iluminación de emergencia
- Disminución de las acciones de preparación
- Modificación de las vías de escapes

Aquí se empieza el proceso de retroalimentación hasta lograr que el tiempo de situación crítica TSC sea menor que el tiempo límite del Riesgo TLR, momento en el cual las expectativas de evacuar con éxito son positivas. De no lograrse lo anterior, deberá actuarse sobre los riesgos con el fin de disminuirlos o trasladarlos, o en su defecto limitar al máximo la exposición a dichos riesgos.

Cuando logramos tener un TSC menor al TLR, podremos definir el objetivo del plan, el cual necesariamente deberá ser cuantificable y medible en el tiempo y se expresará en función de un número de personas en un tiempo determinado. Por ejemplo, "evacuar 246 personas en 7 minutos". Una vez establecido el objetivo es necesario establecer los grupos operativos por área, capacitarlos adecuadamente y desarrollar las prácticas permanentes que nos permitan comprobar la operatividad del plan en función del objetivo propuesto. De estas prácticas se originarán las acciones tendientes a ajustar en plan en la medida de las necesidades.

El éxito del plan de evacuación consiste en crear un patrón de comportamiento sistematizado que permita reaccionar ante una situación dada en el menor tiempo posible. Lo anterior se logra limitando en gran parte la necesidad de análisis y decisión del grupo humano involucrado, mediante el establecimiento de procedimientos (decisiones tomadas por anticipado) claros y sencillos. Para efectos de que el comportamiento se mantenga unificado cualquier toma de decisiones debe circunscribirse al grupo dirigente del Plan, con formación especializada en el tema.

Una pregunta que normalmente surge cuando se está diseñando un plan para emergencias es sobre cuál debe ser el grado de complejidad del mismo. Al respecto se define como principio general, el de que entre más sencillo sea el Plan, más operativo será. En caso de duda sobre la necesidad de determinada acción contemplada, se deberá analizar si al suprimirla podrá alcanzarse el objetivo propuesto. En caso afirmativo la acción podrá suprimirse.

3.1) Estructura del Plan de Evacuación

Los Planes de evacuación tienen dos componentes básicos:

a) Componente Administrativo

Esta parte del plan es de carácter reservado, siendo únicamente de conocimiento de aquellas personas que tienen responsabilidad en la elaboración y administración del mismo. Contiene información como:

- Política.
- Autoridad y responsabilidad.
- Análisis de riesgo y vulnerabilidad.
- Información sobre valores y equipos críticos.
- Planos de las instalaciones.
- En general aquella información necesaria para el plan pero de carácter confidencial.

b) Componente Operativo

Es la parte de información y procedimientos de emergencia que deben ser conocidos por todas las personas de la organización. Debe contener:

- Tipo y codificación de la alarma de evacuación.
- Instrucciones básicas de emergencia.
- Punto de reunión final.
- Plano de ubicación y rutas de escape.

3.2) Características del Plan de Evacuación

Con miras a que los planes sean operativos, uniformes y permanentes, deben tener cinco características básicas:

- 1- Deben formularse por escrito, para evitar modificaciones no establecidas;
- 2- Debe tener aprobación de la máxima autoridad de la organización, ya que implica decisiones de trascendencia en la marcha de la empresa;
- 3- Debe ser publicado para su conocimiento;
- 4- Debe ser enseñado y verificado su aprendizaje;
- 5- Debe ser practicado.

Debe tenerse presente que en definitiva es la práctica la que hace al plan, pues sólo su repetición creará el patrón de respuesta esperado. Es un principio universalmente aceptado el que "nadie hace lo que no sabe hacer". Además, la práctica es lo que nos permitirá conocer los desajustes existentes y hacer así las modificaciones necesarias.

3.3) Contenido del Plan de Evacuación

- 1- Objetivo
- 2- Responsabilidades
- 3- Coordinación
- 4- Alarmas
- 5- Rutas de escapes
- 6- Comunicaciones
- 7- Acciones Especiales
- 8- Prioridades
- 9- Sitios de Reunión
- 10- Periodicidad de práctica
- 11- Administración del plan.

3.4) Criterios para el Diseño y Administración de Planes de Evacuación

Cada edificio según su diseño y usos posee sus propias características para evacuación, lo cual determina un comportamiento típico de cada una de las fases del proceso de evacuación. Es necesario entonces conocer las características de los edificios tales como:

- Colegios
- Oficinas
- Fábricas
- Hoteles
- Residencias
- Hospitales
- Sitios de Reunión Pública

Existen dos parámetros de comportamiento de las fases de evacuación y que inciden en el resultado final.

- a) **Fase Flexible:** Aquella fase del proceso de evacuación (en un edificio particular) que puede variar sensiblemente en su duración como consecuencia de acciones o decisiones tomadas.
- b) **Fase Crítica:** Aquella fase del proceso que individualmente requiere el mayor tiempo para su ejecución.

Como estrategia general, para lograr los mejores resultados en minimizar el tiempo necesario en un plan de evacuación, la dirección del plan debe concentrar sus esfuerzos y recursos en la Fase Flexible tratando de reducir el tiempo de esta fase y en la Fase Crítica, para controlarla impidiendo incrementos en su tiempo de ejecución.

4) IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE EVACUACIÓN

Los pasos para una implementación exitosa de Plan de Evacuación, los podemos resumir en los siguientes:

- 1- Elabore los instructivos por cada área a evacuar
- 2- Seleccione y capacite los grupos operativos (coordinadores de cada área)
- 3- Capacite todo el personal por grupos o áreas
- 4- Haga prácticas individuales para cada grupo o área, con aviso previo.
- 5- Integre varios grupos para prácticas con aviso previo
- 6- Realice práctica total con aviso previo
- 7- Disminuya el Nivel de aviso Previo
- 8- Ejecute prácticas sin aviso previo (sólo en aquellos tipos de ocupación que lo permitan)
- 9- Establezca y ejecute un programa de prácticas periódicas.

5) PAUTAS BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN

- a) Cuanto mayor sea el tiempo menor serán las posibilidades de éxito.
- b) Es necesario crear un patrón de comportamiento sistematizado que permita reaccionar en el menor tiempo posible.
- c) Debe existir un plan de evaluación y debe ser conocido por todos.
- d) El entrenamiento y la práctica es la base de un buen plan.
- e) Todos Deben Conocer:
 - Procedimientos establecidos
 - Sistemas de alarma a utilizar
 - Rutas de escape (incluye plano)
 - Lugar de reunión

6) LOS RESPONSABLES DE GRUPO

Son las personas encargadas de coordinar la evacuación de cada área.

6.1) Criterios de Selección

- Condiciones de liderazgo
- Estabilidad emocional
- Permanencia
- Disposición
- Conocimiento
- Habilidades específicas

6.2) Funciones

- Retirar las personas del sitio del riesgo
- Orientar a las personas en las rutas de escape
- Auxiliar a quienes sufran percances
- Evitar el pánico
- Vigilar las instalaciones
- Acciones especiales

6.3) Lo que Debe Hacer el Responsable del Grupo

Antes de salir	Durante la Evacuación	Después de la Salida
1- Chequear cuantas personas hay en su área de responsabilidad. 2- Supervisar las acciones especiales establecidas (proteger archivos, cerrar válvulas, etc.). 3- Recordar a la gente la ruta de escape a utilizar y el lugar de reunión final.	1- Supervisar que se ejecuten las acciones preestablecidas. 2- No permitir la utilización de ascensores. 3- Impedir a las personas que se regresen. 4- Repetir en forma clara y permanente las consignas especiales (ej. no corran, conserven la calma, avancen de rodillas, etc.). 5- Evitar los brotes de comportamientos incontrolables, pueden dar origen al pánico. 6- Auxiliar oportunamente a quien lo requiera (desmayos, lesionados, etc.). 7- Buscar una salida alterna. 8- En caso de no poder salir lleve a su grupo a una oficina o cuarto seguro. Solicitar de inmediato ayuda por los medios que tenga a su alcance.	1- Verificar si todas las personas a su cargo lograron salir. En caso contrario notificar al grupo de rescate o a los Bomberos. No tratar de hacerlo por si mismo. 2- Reportar al Director de Seguridad o Coordinador del Plan. 3- Notificar las situaciones anormales observadas durante la evacuación. 4- Colaborar con los Bomberos y la Brigada de Incendios 5- Cuando haya terminado la emergencia y se autorice el regreso a los puestos de trabajo, inspeccionar detalladamente el área de responsabilidad. 6- Informar las anomalías y supervise la puesta a punto de las instalaciones y procesos.

7) SIMULACROS

Otro punto que comúnmente suscita indecisiones es el referente a la frecuencia de las prácticas a realizar. Al respecto se han definido algunos criterios básicos, así: la alta rotación de personal requiere una mayor frecuencia de práctica. Asimismo, a mayor riesgo, prácticas más frecuentes son necesarias. Otros factores como tamaño de la planta, dificultades para su paralización, etc., deben ser tenidos en cuenta al tomar la decisión. Como principio general se recomienda que en su fase de mantenimiento, se realicen como mínimas dos prácticas al año. Queremos hacer énfasis en que los simulacros, especialmente en grandes edificios o factorías, deben ser manejados con prudencia ya que pueden tenerse consecuencias lamentables si no llevan adecuadamente. Su implementación debe ser paulatina por secciones y solo cuando cada área esté preparada debe implementarse el programa total.

Asimismo el nivel de información previa sobre el día y hora del simulacro deberá ser mayor en las primeras etapas del plan, y sólo cuando la respuesta prevista se haya condicionado podrá prescindirse de ella. En los sitios en donde por naturaleza la mayor parte de la población sea no habitual (por ejemplo Hoteles o grandes tiendas o almacenes), es preferible dar siempre información previa antes del simulacro, e inclusive recordar la acción simultáneamente con el operativo, utilizando altavoces o medios similares, y debe darse un gran énfasis a la formación del personal del establecimiento encargado de coordinar el movimiento del público.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la evacuación es que las personas amenazadas se pongan a salvo por sus propio medios, quienes se responsabilicen de su coordinación en cada área (grupos operativos) deben ser empleados permanentes de dichas áreas de trabajo y no los componentes de la Brigada de Emergencia, cuyo papel está destinado a actuar en casos especiales. En esto el sentido está orientado a convertir el proceso de evacuación en una acción "normal" dentro de la organización.

8) ASPECTOS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA EN LA SALIDA

- No se debe correr
- No volverse por ningún motivo
- Las mujeres deben quitarse zapatos de tacón alto
- No utilizar ascensores
- En caso de salir verificar estado de las vías de escape
- Cerrar las puertas después de salir
- Dar prioridad a las personas con mayor exposición al riesgo
- En edificios altos evacuar: el piso afectado, los dos pisos superiores e inferiores al incendio, y si es necesario todas las demás de arriba.
- Si tiene que refugiarse deje una señal
- Verifique la lista del personal en el punto de reunión final.



Región de Murcia
Consejería de Presidencia y Administraciones Públicas